Lane Medical Library

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Gießen

Die konstruktive Anordnung der kollagenen Fasern in der Sklera und den Sehnervenscheiden des Rinderauges

Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

medizinischen Fakultät

der Hessischen Ludwigs-Universität zu Gießen

vorgelegt von

Erich Fischer

aus Witten a. d. Ruhr

Leipzig 1933

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät zu Gießen

Referent:

Prof. Dr. H. Becher

Sonderabdruck

aus »Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte« 101. Bd., 2. Heft.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40154005_0011

Inhalt.

I. Die früher angewendeten Methoden zur Erkennung des Verlaufs der kollagenen Skleralfasern (S. 168).
II. Eigene Methoden zur Darstellung der Skleralfasern (S. 170).
III. Der Verlauf der kollagenen Fasern in der Sklera und den Sehnervenhüllen des Rinderauges auf Grund der eigenen Untersuchungen (S. 174).
A. Opticushüllen (S. 174).
Zusammenfassung und funktionelle Erklärung des konstruktiven Baues der Sehnervenhüllen (S. 182).
B. Übergang der Opticushüllen auf den Bulbus, der Canalis opticus sclerae und die Lamina cribrosa sclerae (S. 184).
C. Die Sclera bulbi (S. 193).
a) Hinterer Bulbusabschnitt (S. 195).
b) Das Gebiet des Äquators mit der Anheftungsstelle der Sehnen des Musculus retractor und der Mm. obliqui (S. 197).
c) Vorderer Teil der Sklera mit der Einstrahlung der geraden Augenmuskelsehnen und dem Limbus sclerae (S. 201).
Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse der Abschnitte B und C und ein Versuch, die vorgefundene Struktur als Folge der funktionellen Beanspruchung zu erklären (S. 206).
Literaturverzeichnis (S. 210).

I. Die früher angewendeten Methoden zur Erkennung des Verlaufs der kollagenen Skleralfasern.

Verfolgt man die in den letzten Jahrzehnten veröffentlichten Arbeiten über die Struktur der Sklera, so findet man mit ganz wenigen Ausnahmen die Untersuchung mikroskopischer Schnittbilder als Methode zur Erkennung und Darstellung von Form und Verlauf der kollagenen Fasern angewandt. Es wurden äquatoriale, meridionale, schräge, Quer- und Flachschnitte von den verschiedensten Abschnitten des Bulbus angefertigt. Mit dieser Technik sah man im Schnitt längs, quer und schräg getroffene Faserzüge und beschrieb an Hand dieser Befunde für jeden Abschnitt der Sklera den Verlauf der kollagenen Bündel. Manche Eigentümlichkeit über Form, Verlauf und die gegenseitigen Beziehungen der Skleralfasern wurde so aufgedeckt. Wenn auch der Faserverlauf einiger

Stellen der äußeren Augenhaut, wie z. B. der Einstrahlungszone der Augenmuskelsehnen oder einzelner Partien des Limbus, eine weitgehende Aufklärung erfuhr, so konnte im allgemeinen die Untersuchung der Schnittbilder über ein Aufzählen von quer-, längs- und schräggetroffenen Fasern und die Feststellung, daß in den einzelnen Abschnitten des Bulbus ein verschieden häufiges Auftreten der einen oder anderen Faserrichtung vorkommt, nicht hinausführen. Auch die Abbildungen, die man von der Sklera findet, sind durchweg Wiedergaben mikroskopischer Schnittbilder, wobei man sich in der Regel auf eine oder wenige Abbildungen beschränkt, die als generelles Beispiel für den Bau der Sklera gelten sollen. Einen plastischen Eindruck von der Skleralfaserung kann man aus Schnittbildern schlecht gewinnen, und die rein gedankliche Rekonstruktion eines so verflochtenen Systems ist sehr schwer. Man hat zwar versucht, die den vielen Excisionsstreifen entsprechenden Teildarstellungen des Verlaufs der kollagenen Bindegewebsfasern zum einheitlichen Bilde eines Fasersystems der Sklera zu ergänzen. Dies ist z. B. von Ischreyt (1899) für das Rinderauge durchgeführt worden. Das so gewonnene Bild mußte unvollständig bleiben, wenn auch schon ein guter Überblick über den Bau der harten Bulbushülle gewonnen wurde.

Es hat nicht an Stimmen gefehlt, die vor einer Überschätzung der aus einzelnen Schnittbildern gewonnenen Rekonstruktion vom Faserverlauf in der Sklera eindringlich gewarnt haben. Besonders war es H. Virchow (1905), der die Schwierigkeit der Beurteilung der Schnittbilder von Fasern geschildert und vor ihrer falschen Deutung gewarnt hat. Er schreibt: „Es ist jedoch bei der Beurteilung (der Skleralschnittbilder) eine gewisse Vorsicht geboten aus einem Grunde, den ich bei der Hornhaut eingehend erörtert habe." Und dort heißt es: „Da wir nun aus der Beobachtung der senkrechten Schnitte wissen, wie wenig wir aus den Schiefschnitten der Fasern über die Faserrichtung ersehen können, ja daß viele Autoren von längsgerichteten und quergeschnittenen Fasern gesprochen haben, ohne auch nur zu ahnen, daß sie schiefgerichtete Fasern vor sich hatten, so werden wir uns sagen müssen, daß wir uns auf einem höchst unsicheren Gebiete befinden; ja es könnte scheinen, daß es für alle Zeit aussichtslos ist, über diese Abschnitte der Cornea propria einen zuverlässigen Aufschluß zu erlangen."

Diese Ansicht über den Wert der Schnittbilder gilt auch heute noch, denn die später erschienenen Arbeiten über den Verlauf der Skleralfasern fußen größtenteils auf derselben Arbeitsmethode und haben deshalb keine wesentlichen Fortschritte bringen können.

Zwei Arbeiten müssen erwähnt werden, in denen andere Wege zur Darstellung der kollagenen Skleralfasern beschritten worden sind. 1912 schreibt G. Attias: „Durch die oben beschriebene Osmiummethode tritt das in den Fasern gelegene Fett deutlich hervor und so wird besser als mit Hilfe anderer Methoden die Faserrichtung kenntlich . . ." In dieser Arbeit wird unseres Wissens zum erstenmal eine plastische Abbildung von Skleralfasern veröffentlicht, denn bislang waren nur Schnittbilder bekannt, von deren begrenztem Wert oben die Rede gewesen ist. Die andere Arbeit stammt von Krekeler (1923). Auch in dieser Untersuchung wird, wie von Attias, der günstige Umstand der im Alter häufig vorkommenden Fettablagerung in den kollagenen Faserbündeln zunutze

genommen. Es heißt dort: „Als glücklicher Umstand zur Klärung der normal-anatomischen Verhältnisse erwies sich die im Alter häufig vorkommende Fettablagerung. Diese verfetteten Bezirke verschaffen im Flachschnitt einen wichtigen Aufschluß über die Verlaufsrichtung der einzelnen Skleralbündel, da diese je nach dem Grade der Fetteinlagerung mehr oder weniger hervortreten. So ergeben sich oft recht zierliche Bilder: man sieht die Fasern sich in spitzen Winkeln überkreuzen, wie sie spießförmig über- und untereinander verlaufen und sich teilen und andere Fasern durch die Teilungsgabel hindurchziehen. Man bekommt so ein äußerst anschauliches Bild von der mattenartigen, unentwirrbaren Textur des Skleralgewebes . . .“ Wir haben diese Ausführungen wörtlich wiedergegeben, weil sie sehr anschaulich den Eindruck schildern, den man bei der Betrachtung von Skleralfasern gemeinhin erhält. Über den sonstigen Wert der Schnittbilder urteilt auch Krekeler ähnlich wie H. Virchow, wenn er schreibt: „Auf dem Meridionalschnitt ist es recht schwer, wenn nicht gar unmöglich, nur einigermaßen die vorwiegende Anordnung der Bündel anzugeben, man wird hier leicht versucht sein, eine vorwiegend meridionale Faserrichtung anzunehmen, da viele Fasern in der Längsrichtung getroffen erscheinen, neben denen die rein quer oder schräg getroffenen nur wenig imponieren.“

Beide Autoren, Attias wie Krekeler, beschränken sich jedoch auf diese kurzen Angaben. Eine systematische Untersuchung der Sklera haben sie nicht unternommen, denn das von beiden benutzte günstige Moment der Fettablagerung in den Skleren alter Individuen reicht nicht aus, die Sklera in allen ihren Teilen strukturell zu erfassen, da die Verfettung nur einzelne Bezirke der Sklera betrifft, und daher der Vorteil dieser Erscheinung nur begrenzt anwendbar ist.

Wir haben deshalb nach Methoden gesucht, die die kollagenen Fasern in Form und Verlauf deutlich erkennen und nach Möglichkeit plastisch erscheinen lassen.

II. Eigene Methoden zur Darstellung der Skleralfasern.

Die Rinderaugen wurden nach Schlachtung der Tiere unter Erhaltung eines möglichst langen intraorbitalen Stückes des Nervus opticus aus der Orbita enucleiert und von anhängendem Fett, Bindegewebe und Muskulatur bis auf die Sehnenansätze befreit. Ein Teil der Bulbi wurde eröffnet, und Glaskörper und Linse herausgenommen, andere Bulbi wurden ungeöffnet zur Untersuchung weiter vorbereitet. Die folgende Behandlung war verschieden je nach dem Zweck, dem das Präparat dienen sollte. Bei einer Art der Behandlung kamen die präparierten Augen in steigenden 30-, 70- und 96proz. Alkohol, in dem sie einige Tage verblieben und wurden von dort an die Luft gebracht zum Trocknen. Hierbei läßt man den eröffneten Bulbus entweder in seiner Form oder er wird durch mehrere meridionale, bis zum Limbus reichende Einschnitte aufgeteilt und mit Nadeln auf einer planen Holzfläche so befestigt, daß die Sektoren der Sklera vollkommen flach ausgebreitet liegen. Derart vorbereitetes Material läßt sich später bequemer betrachten und zur evtl. photographischen Aufnahme leichter in eine Ebene bringen. Zur Darstellung bestimmter Faserarten (z. B. Anheftungszone des Corpus ciliare an die Sklera) eignet sich besser ein geringerer Grad der Austrocknung, für andere Zwecke dagegen sind vollständig trocken gewordene

Präparate günstiger. Letztere setzen infolge ihrer Starrheit der Bearbeitung erheblichen Widerstand entgegen; dafür zeigen aber die aus ihnen gewonnenen Bilder eine prägnante Faserzeichnung und große Leuchtkraft der einzelnen Bündel. Bei der anderen Art der Behandlung bleiben die Augen geschmeidiger. Sie werden nach der SEMPERschen Methode hergerichtet: 1proz. Chromsäure 24 Stunden, Wässern, aufsteigender Alkohol bis zum absoluten, Terpentinöl, Lufttrocknen. Die Bulbi bleiben in ihrer Form erhalten und lassen sich infolge der erzielten weichen Konsistenz leicht weiterbehandeln. Jedoch haben die aus ihnen dargestellten Fasern nicht die scharfe Konturierung, wie wenn die Skleren nur mit Alkohol behandelt sind, und ihre Faserbündel erscheinen matter im auffallenden Lichte. Für die Untersuchung der Sehnervenscheiden eignen sich diese Semperpräparate am besten, da an ihnen der Nervus opticus nicht geschrumpft, sondern mit den Hüllen in seiner Form erhalten ist. Eine Kombination beider genannten Methoden: aufsteigende Alkoholreihe bis zum Alkohol absolutus, Terpentinöl, Lufttrocknen (Ausschaltung der Chromsäure!) nimmt eine Mittelstellung ein insofern, als diese Präparate gegenüber den mit Chromsäure gesemperten etwas härter sind, aber nicht so hart eintrocknen wie die nur mit Alkohol behandelten. Die aus ihnen gewonnenen Faserbilder sind sehr brauchbar.

Das derart präparierte Skleralgewebe läßt sich schneiden, zerreißen und auffasern. Zu Schnitten benutzten wir wegen ihrer Geschmeidigkeit und geringen Schrumpfung nur die gesemperten Augen. Als Schneidinstrumente erwiesen sich uns die gebräuchlichen Rasierklingen als zweckmäßig, die wir für feinstes Arbeiten in besonderer Weise herrichteten. Man zerbricht sie zwischen zwei Zangen und erhält so feinste, spitze und gut schneidende Instrumente, die leicht ersetzbar sind. Die Schnitte lassen sich in allen Ebenen ausführen. Für die Meridianebene wählt man im vorderen Abschnitt des Bulbus als Richtung den Verlauf der Pigmentzellen, die hier an der Innenfläche der Sklera in großer Zahl vorkommen und ziemlich genau die meridionale Richtung einhalten. An den Schnittflächen kann man im auffallenden Licht die Textur der Sklera unter denselben Vorbehalten studieren, die wir im vorigen Kapitel für die Schnittbilder im allgemeinen geschildert haben. Längs getroffene Bündel lassen sich leicht als solche erkennen, sie leuchten silberweiß auf und sind oft in querer Richtung gewellt. Dadurch sind sie scharf von den schräg und quer getroffenen unterschieden, die im auffallenden Lichte dunkel und glasig erscheinen, und deren Verlaufsrichtung aus einem einzigen Präparat schwer anzugeben ist. Jedoch kann man zu jeder Zeit in beliebiger Richtung Schnitte hinzufügen, so daß man auch an zunächst unklaren Stellen Aufschluß über die Faserrichtung erhält. Das Anlegen der Schnitte ist sehr einfach, und sie leisten unserer Ansicht nach in bezug auf die Aufklärung der Faserrichtung dasselbe wie die mikroskopischen Schnittpräparate, an denen man keine Veränderung mehr vornehmen kann. Die Ergebnisse dieser Methode ergänzen oft die im folgenden beschriebenen Rißbilder.

Für die Methode der Wahl zur Darstellung kollagener Skleralfasern halten wir das Verfahren des Abreißens von Gewebslamellen. Man bildet mit Hilfe der beschriebenen Messerchen in der Sklera einen kleinen Lappen und reißt ihn mit einer Pinzette oder bei starren Objekten mit einer feinen Zange ab. Am

leichtesten ist das in der Hauptrichtung des Faserverlaufs möglich, wobei die in dieser Richtung ziehenden Bündel gut zur Darstellung kommen. Die entgegengesetzt gerichteten werden dabei häufig zerstört und müssen, falls sie in derselben Schicht verlaufen, an einem anderen Präparat durch einen ihnen parallel gehenden Abriß gesondert dargestellt werden. Je nach der Dicke des gebildeten Lappens kommt man in oberflächliche oder tiefere Lagen der Sklera. Einen Skleralstreifen des Äquatorgebietes z. B. kann man in 8—10 Lamellen aufblättern und sich an jeder vom Faserverlauf unterrichten. Für die Rißmethode eignen sich alle Skleren, gleich, in welcher Weise sie vorbehandelt sind. Wie angegeben, sind jedoch die mit Chromsäure gesemperten leichter zu behandeln, während die mit Alkohol fixierten die klarsten Faserbilder ergeben. Durch Übung lernt man bald, die am meisten geeignete Methode zur Gewinnung guter Präparate von den verschiedenen Stellen des Bulbus anzuwenden.

Die Untersuchung des Skleralgewebes geschieht im auffallenden Lichte mit Hilfe eines binokularen Präpariermikroskopes, meist bei einer 30fachen Vergrößerung. Als Beleuchtungsquelle dient das Leitzsche Mignonlämpchen. Lichtrichtung und -intensität lassen sich bei ihm leicht variieren. Die stereoskopische Bildwirkung ist sowohl für das bloße Betrachten wie vor allem für das Arbeiten am Präparat unersetzlich. Die Bündel heben sich plastisch als weiße, leuchtende Gebilde ab, deren Eigentümlichkeiten in bezug auf Form, Richtung und Verhalten zu anderen Fasern deutlich in Erscheinung treten. Nach Befestigung des Präparates gestattet es die genannte Vergrößerung, mit feinen Nadeln, Pinzetten, Messern oder Scheren das Gewebe aufzulockern, selbst einzelne Bündel präparatorisch zu verfolgen und sich von ihrem weiteren Verbleib zu unterrichten.

Es ist leicht ersichtlich, daß die Untersuchung eines Skleralabschnittes nach den geschilderten Methoden, die die Möglichkeit bieten, zu jeder Zeit dem schon vorhandenen Bilde neue, sei es durch Schnitt, Abriß, Auffasern oder Präparieren, hinzuzufügen, mehr Aufschluß über das Verhalten der Faserung geben muß als das ausschließliche Betrachten dünner mikroskopischer Schnitte, an denen dann jede weiteren präparatorischen Maßnahmen ausgeschlossen sind.

Außer den beschriebenen Hauptmethoden der Darstellung sollen noch einige Kunstgriffe erwähnt werden, die zur Erkennung des Faserverlaufs in der Sklera beitragen. Wie erwähnt, ist das Abreißen einer Gewebslamelle am leichtesten in der Hauptfaserrichtung möglich. Man wird so schon durch die Richtung des leichtesten Einreißens zu einer Vorstellung vom Verlaufe der Fasern (z. B. im Äquatorgebiet, in bestimmten Teilen des Limbus usw.) hingelenkt. Ein anderes Hilfsmittel, das oft die gefundenen Resultate des Faserverlaufs bestätigen bzw. ergänzen kann, bietet der Reichtum an Pigmentzellen in der Sklera in bestimmten Gegenden des Bulbus sowie in den Hüllen des Nervus opticus. Es ist bekannt, daß die Pigmentzellen sich mit ihrer Längsachse in die Verlaufsrichtung der Bindegewebsfasern einstellen. Diese Übereinstimmung des Verlaufs ist am Rinderauge infolge seines Pigmentreichtums besonders schön zu verfolgen. An Stellen mit sehr komplizierter Webart, wie etwa in den äußeren Schichten der Äquatorgegend des Bulbus, zeigt uns der auf den ersten Blick scheinbar wirre Verlauf der Pigmentzellen bei genauer Analyse deutlich den Verlauf der kollagenen

Bindegewebsbündel an. Die hier sehr zahlreich vorhandenen zarten episkleralen Fasern verdecken meist die tiefer gelegenen Pigmentzellen der Sklera. Um letztere gut sichtbar zu machen, bestreicht man die zu untersuchende Stelle mit Canadabalsam, worauf das kollagene Gewebe aufgehellt wird und für die Betrachtung im auffallenden Lichte verschwindet, während die Pigmentzellen deutlich hervortreten.

Wir versuchten mit der Spaltmethode, die von Benninghoff für die verschiedensten Gewebe (Bindegewebe, Knorpel, Knochen, Gefäßwand) mit Erfolg zur Erforschung von Richtungsverhältnissen bei Fasersystemen angewandt worden ist, Aufschluß über den Faserverlauf in der Sklera zu bekommen. Jedoch konnten wir damit keine befriedigenden Resultate erzielen. Die Spaltrichtungen, die durch das Einstechen mit feinen Nadelspitzen im Gewebe entstanden, waren nicht klar genug, um Rückschlüsse auf die Richtung der kollagenen Bündel zuzulassen. Das Skleralgewebe stellt ein so inniges Flechtwerk dar, daß die Einstichstellen fast rund erscheinen und keine Verziehung in einer bestimmten Richtung aufweisen. Eine Kombination der Spaltmethode mit Farbstoffen war ebenfalls untauglich, da der Farbstoff sich nicht elektiv, sondern gleichmäßig und diffus in der Umgebung des Einstiches ausbreitete. Ebenso verhielt sich die Farbe bei dem Versuch, nur ein Bündel mit ihr zu benetzen, in der Hoffnung, sie würde sich in diesem oder an diesem entlang ausbreiten und seinen Verlauf sichtbar machen.

Andere Möglichkeiten oder Hilfsmittel, den kollagenen Faserverlauf zu erkennen: die mit Altersveränderungen einhergehende Verfettung kollagener Skleralfasern, deren Osmierung zur Klärung des Faserverlaufs von Attias (1912) empfohlen wurde oder das Verhalten der elastischen Fasern der Sklera, die sich im allgemeinen dem Verlauf der kollagenen anschließen, haben wir in unserer Arbeit nicht verwertet. Die angewendeten Methoden schienen uns ausreichend, um an die scheinbar unentwirrbare Textur der Sklera heranzutreten und eine Klärung ihres Faserverlaufs zu versuchen.

Zum Schluß noch einige Worte über den Werdegang der den folgenden Abschnitten beigegebenen Abbildungen. Wir waren bestrebt, unsere Untersuchungsergebnisse ausschließlich durch Originalphotos zu erläutern und zu belegen. Auf jede Retuschierung ist verzichtet worden, um möglichst naturgetreu den Eindruck wiederzugeben, den man bei der Betrachtung des Präparates erhält. Gegenüber dem stereoskopischen Bilde geht bei der einfachen Abbildung so viel an Wirkung verloren, daß wir uns die Frage vorgelegt haben, ob es nicht besser sei, die Faserbilder stereoskopisch wiederzugeben. Doch fehlte uns der notwendige Stereoaufnahmeapparat, und wir kannten die Schwierigkeiten einer evtl. behelfsmäßigen Aufnahmetechnik und haben auch im Hinblick auf die erhöhten Reproduktionskosten stereoskopischer Bilder von Stereoabbildungen abgesehen. Die Technik bei der Abbildung war folgende: Das Licht fällt, wie bei der Betrachtung des Gewebes, schräg von oben auf das Präparat. Der optimale Beleuchtungswinkel ist zur guten Wiedergabe des Faserbildes von größter Bedeutung und für jeden Fall besonders festzustellen. Die ebenso wichtige Beleuchtungsrichtung der aufzunehmenden Faserzüge prüft man durch langsames Drehen des Präparates um 360 Grad, das daher zweckmäßig auf einem drehbaren

Objekttisch montiert wird. Die Lichtquelle selbst darf nicht zu stark sein, da leicht eine Überstrahlung und damit Verwaschung der Faserzeichnung eintritt. Als sehr gut erwies sich uns wieder das Leitzsche Mignonlämpchen, das man leicht in jede gewünschte Stellung bringen kann. Für die Beleuchtung größerer Flächen verwandten wir das Licht einer weit abstehenden Bogenlampe. Zur Erzielung eines guten Bildeffektes kommt es allein auf die günstige Verteilung von Licht und Schatten an. Diese Forderung ist nicht leicht zu erfüllen, wenn zwei oder noch mehr Faserrichtungen oder ganz zarte Strukturen zur Abbildung kommen sollen. Weiter komplizierend wirken die meist vorhandenen großen Niveauunterschiede im Präparat, weshalb oft Unschärfen im Bilde nicht zu vermeiden waren. Dieses Übel haben wir durch starkes Abblenden der verwendeten Objektive (Mikrosummare, Photoobjektive) zum Teil beheben können. Zur Aufnahme diente ein Mikroskop mit drehbarem Objekttisch und die Leitzsche Aufsatzkamera „MAKAM". In anderen Fällen photographierten wir durch einen Tubus des binokularen Präpariermikroskopes mit aufgesetztem Kamerabalgen. Wenn das Präparat bei senkrecht auffallender Beleuchtung in günstigem Lichteffekt erscheint, kann man den sehr praktischen „ULTROPAK" von Leitz anwenden. Zum leichteren Verständnis der photographischen Abbildungen und zur übersichtlichen Darstellung der oft komplizierten Faserstrukturen mögen einige vereinfachte Zeichnungen dienen, auf welchen die Hauptfaserrichtungen in den Sehnervenhüllen und in der Sklera angegeben sind. Aus solchen, nach den tatsächlichen Befunden ausgeführten schematischen Bildern lassen sich auch am leichtesten die konstruktive Anordnung der Fasersysteme und ihre funktionelle Bedeutung ablesen und verstehen. Das funktionelle Prinzip in der Anordnung der Skleralfasern aufzudecken und klarzustellen, war das Hauptziel dieser Arbeit.

Die Anregung zu dieser Arbeit erhielt ich während meiner Assistententätigkeit am Anatomischen Institut von Herrn Prof. Dr. Becher. Indem er mir jederzeit helfend und beratend zur Seite stand, war es mir durch diese Zusammenarbeit möglich, mich bald mit den Arbeitsmethoden und dem Stoffgebiet vertraut zu machen und die Arbeit durchzuführen. Auch bei der Abfassung des Stoffes konnte ich mich stets seiner Hilfe und seines Rates bedienen, wenn es galt, die endgültige Formulierung festzulegen. Es ist mir ein dringendes Bedürfnis, auch an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer meinen ergebensten Dank dafür auszusprechen. Ebenfalls bin ich Herrn Prof. Dr. Henneberg für die reiche Arbeitsmöglichkeit und das weitgehende Entgegenkommen in bezug auf die Benutzung der Hilfsmittel des Anatomischen Institutes zu großem Danke verpflichtet.

III. Der Verlauf der kollagenen Fasern in der Sklera und den Sehnervenhüllen des Rinderauges auf Grund der eigenen Untersuchungen.

A. Opticushüllen.

Die drei Hüllen des Gehirns: Dura mater, Arachnoides und Pia, setzen sich, wie bekannt, auf den Sehnerven fort und bilden die Sehnervenscheiden, Vaginae nervi optici. Sie fassen zwischen sich die beiden Abteilungen des Intervaginalraumes, deren direkte Kommunikation mit den entsprechenden intrakranialen

Räumen angenommen wird. Im intraorbitalen Abschnitt lassen sich an den Hüllen des Nervus opticus folgende Eigenarten der kollagenen Fasern feststellen. Zur Untersuchung wurden Augen verwandt, die mit Chromsäure gesempert waren (s. vorigen Abschnitt).

Das epidurale Gewebe ist sehr zart und liegt außen locker der Sehnervenhülle an. Es bildet eine homogen aussehende Hülle, an der jedoch bei der Zerreißung Bündel hervortreten, die in den verschiedensten Richtungen verlaufen. Die einzelnen Faserbündel sind teils rundlich, verzweigt und bilden lose Netze oder sie sind platt und breit. Letztere liegen mit ihren Rändern so zusammen, daß sich kleine Abschnitte ihrer Flächen gegenseitig wie Dachziegel überdecken. Auf die Weise entsteht ein zusammenhängendes Häutchen. Die Fasern sind unregelmäßig gewellt.

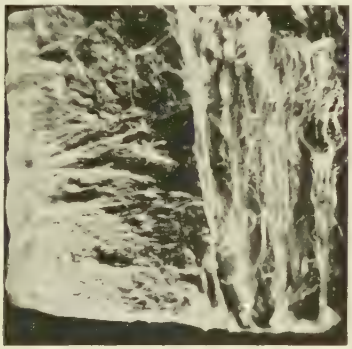

Abb. 1[1]. Duralscheide des Nervus opticus mit äußerer longitudinaler und innerer zirkulärer Faserschicht. Vergrößerung 10mal.

Abb. 2. Stark gewellte kollagene Längsfaserbündel der äußeren Lamelle der Duralscheide des Nervus opticus. Vergrößerung 145mal.

Der Übergang zum Duralgewebe erfolgt allmählich. Die Tatsache, daß die Duralscheide außen längs und innen zirkulär gefasert ist, ist bekannt. So finden wir in der äußeren Schicht eine große Anzahl längsverlaufender Bindegewebsbündel (Abb. 1). An einer eng umschriebenen Stelle lassen sich mit einer Nadel Hunderte von Bündeln aufheben, ohne daß man nur eines von wesentlich anderer Verlaufsrichtung findet. Dieser Parallelverlauf findet sich jedoch nicht an allen Stellen. Wir kommen darauf zurück, wenn wir über die Herkunft der Bündel

[1] Alle Abbildungen beziehen sich auf das Rinderauge. Abb. 1–26 sind unretuschierte Mikrophotogramme (Nr. 21, 23 in natürlicher Größe), die nach den Originalpräparaten aufgenommen wurden. Abb. 4, 6, 12 und 24 sind schematische Zeichnungen. Die auf den Nervus opticus bezüglichen Faserbilder sind so gestellt, daß im Bilde oben gehirnwärts, im Bilde unten bulbuswärts bedeutet; dadurch bringt schon die einfache Betrachtung Klarheit über den longitudinalen oder zirkulären Verlauf der Fasern (ausgenommen Abb. 4, 6, 8, 12). Die Orientierung der auf die Sklera bezüglichen Abbildungen ist so gewählt, daß dem oberen Ende des Bildes am Auge hinten (opticuswärts) entspricht, unten im Bilde ist demnach am Auge vorn (cornealwärts). Diese Anordnung gilt nicht für diejenigen Abbildungen, die Ansichten des Bulbus vom hinteren bzw. vorderen Augenpol und seiner Umgebung oder Seitenansichten des Augapfels darstellen (Abb. 15, 19, 20, 21, 23 und 24).

sprechen. Geringe Abweichungen vom Parallelverlauf in Form von spitzwinkeligen Überschneidungen sind häufig. Es handelt sich dabei um einzelne Faserbündel oder um kleine sich kreuzende Lamellen. Die Faserbündel sind flach, breit und sehr lang. Viele kann man vom Bulbus mehrere Zentimeter weit am Sehnerven entlang verfolgen. Vereinzelt trifft man Bündel, die sehr breit und so dünn sind, daß man durch sie hindurchsehen kann. Die meisten sind jedoch so dick, daß sie das auffallende Licht stark reflektieren und silberweiß erscheinen. Sie alle legen sich mit Nachbarfasern zusammen und zeigen auch die dachziegelartige Überdeckung. Gelegentlich spalten sie sich auf und fassen andere Züge in ihre Teilungsgabel ein. Die Fasern dieser äußeren Längsschicht der Dura zeigen einen deutlichen und regelmäßig gewellten Verlauf, dessen starke Ausbildung für diese Schicht typisch ist (Abb. 2). Wellenberge und -täler benachbarter Bündel liegen genau nebeneinander. Man kann so bei Betrachtung der unaufgelockerten Schicht die

Abb. 3. Opticuseintritt in den Bulbus mit äußerer Längsfaserschicht der Duralscheide und Einstrahlung der Faserbündel in die Sklera (an der ventralen Circumferenz [V.] des Sehnervenscheidenansatzes). Vergrößerung $4^1/_2$mal.

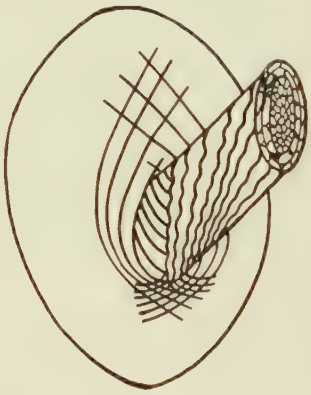

Abb. 4. Opticuseintritt in den Bulbus. Darstellung der duralen Längs- und Ringfasern des Nervus opticus sowie der äußeren Skleralfaserzwinge. Schematische Zeichnung.

Richtung der Fasern erkennen, da die Berg- und Talreihen fast senkrecht zu ihr stehen. Infolge der starken Wellung ist diesem Gewebe ein hoher Grad von Dehnbarkeit eigen. Durch Zug wird die Faser verlängert unter Ausgleich ihrer Wellen und kehrt beim Aufhören der Spannung auf Grund der Zusammenziehung der eingelagerten elastischen Fasern in ihre alte Form zurück. Es handelt sich um das gleiche Prinzip der Federung, wie es E. Th. Nauck (1931) bei Muskelsehnen, Nervenfaserbündeln und am Epineurium beschrieben hat, und wie wir es später für die Sklera kennenlernen werden oder das der Vorratsfalten, auf das v. Lanz (1931) bei der harten Rückenmarkshaut hinweist.

Die Bindegewebsbündel der äußeren longitudinalen Duralscheide setzen sich in die Sklera fort. Die Haupteinstrahlungsstelle ist die untere (ventrale)

Circumferenz[1] des Sehnervenscheidenansatzes am Bulbus. An ihrem tiefsten Punkt treten die Faserbündel von der ventralen Fläche des Sehnerven ein. Die an seiner medialen und lateralen Seite liegenden Fasern ziehen schräg nach vorn und unten, um zu beiden Seiten des Fasersammelpunktes in die Sklera einzustrahlen. Ebenso verhalten sich die Bündel von der oberen Fläche der äußeren Opticusscheide. Diese ziehen um so steiler über beide Seiten des Nervus opticus abwärts, je näher ihre Lage zum Bulbus ist (Abb. 3, 4). Ganz in seiner Nähe nehmen die Fasern fast eine zirkuläre Richtung an und diese gehen zum Teil auch an der dorsalen Circumferenz des Scheidenansatzes in die Sklera über. Der beschriebene Verlauf der duralen Längsbündel erklärt die in dieser Schicht häufigen spitzwinkligen Überschneidungen von einzelnen Fasern und Lamellen. Sehr deutliche Kreuzungen sind an der oberen Fläche des Sehnerven. Infolge des mehr oder weniger steilen Verlaufes der Fasern sind die Schnittwinkel verschieden groß. Sie sind um so spitzer, je weiter sie vom Bulbus abliegen und umgekehrt. Nahe am Bulbus betragen sie 90 Grad und mehr (Abb. 5).

Abb. 5. Kreuzungen der kollagenen Längsfaserbündel in der äußeren Lamelle der Duralscheide (auf der dorsalen Fläche des Nervus opticus dicht am Bulbus). Vergr. 20mal.

An einigen Stellen findet man in dieser Durallamelle Wirbelbildungen. Die Bündel treten radiär an einem Knotenpunkt zusammen, der mit den darunterliegenden zirkulären Fasern verflochten ist. An der Bildung sind die beschriebenen Längsfasern beteiligt. Solche Wirbel waren in einem Falle 2,0, in anderen 2,5 und 2,7 cm vom Bulbus entfernt und meist seitlich am Sehnerven gelegen. Das Zentrum des Wirbels ist durch Bündel an die darunter gelegene zirkuläre Duralscheide angeheftet, wobei die zum Wirbel sich vereinigenden Fasern auch im Schnittpunkt miteinander verflochten und gegenseitig fixiert sind. Man kann diese Stellen als Zwischenstationen im Verlauf der longitudinalen Fasern auffassen; sie setzen diesseits und jenseits dieser Verankerung ihren Weg in Richtung zum Foramen opticum oder zum Bulbus fort. Durch diese Festheftungen bleibt auch die Anordnung der ziemlich locker gefügten äußeren Duralschicht gewahrt. An den Wirbeln findet man bei freipräparierten und gesemperten Sehnerven Bündel, die schon abgetrennt sind und frei hervorstehen und die wahrscheinlich im Zusammenhang mit dem Septum orbitale standen. Dieses besteht aus Falten, die die Fascia bulbi Tenoni an der medialen und lateralen Seite zum Nervus opticus sendet (Martin). Die aus diesen Falten in die Wirbel einstrahlenden Fasern können zur Fixation des Sehnerven beitragen.

[1] Genauer müssen die Bezeichnungen ventral und dorsal ventrolateral und dorsomedial heißen, da der Opticus nach schrägem Verlauf sich spitzwinkelig im unteren äußeren Quadranten an den Bulbus anheftet. Siehe hierüber auch S. 178 u. 179.

Außer den starken, längsgerichteten Bündeln sieht man an der äußeren longitudinalen Duralscheide noch feinste Fäserchen, die zum Teil abgespaltene Fibrillenbündel der Hauptfasern darstellen und der Vereinigung der Bündel, Blätter und Lamellen dienen.

Dringt man tiefer in das Duralgewebe ein, geht die locker gefügte Längsfaserung in einen fester verwebten Bezirk über. Es beginnt hier die innere Lamelle der Duralscheide mit ihrem schrägen bis zirkulären Faserverlauf. An der Grenze zwischen beiden Schichten gehen Fäden der einen in die andere über und befestigen die Lagen aneinander. Trotz des Vorhandenseins derselben kollagenen Bündel in der äußeren und inneren Schicht der Dura handelt es sich um eine ganz andere Webart und Form der Fasern. Die gewebsanalytische Untersuchung zeigt auch Unterschiede bezüglich der elastischen Elemente. Diese sind in der Längsschicht viel reichlicher vertreten als in der zirkulären. Mit der Nadel oder Pinzette kann man in das Gewebe der zirkulären Duralhülle kaum präparativ vordringen. Es gleicht in seiner Struktur einem dichten Filz. Hier tritt die Rißmethode in ihr volles Recht. Mit ihr kommt die Faserung gut zur Darstellung, da sie hauptsächlich in einer Richtung, der zirkulären, orientiert ist (Abb. 1). Die einzelne Faser ist m ist zart, viel kürzer als in der Längsschicht und kaum aus ihrer Verflechtung mit den anderen zu isolieren. Spitzwinklige Überschneidungen und Gabelungen mit Durchtritt anderer Fäden sind recht häufig. Die feinsten Fibrillenbündel zeigen eine kleine Wellung, doch betrifft diese nie ein gröberes Bündel wie in der für die Längsfasern geschilderten Weise. Die Dehnung dieses Gewebes ist daher weniger durch Verstreichen der Faserwellung als durch scherenförmige Spreizung der sich kreuzenden Faserbündel möglich. Breitere Fasern dieser Schicht legen sich auch dachziegelförmig an- und übereinander und bilden filzartige Blätter.

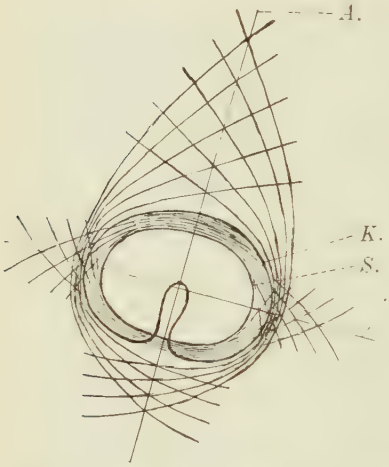

Abb. 6. Darstellung der äußeren (*A.*) und inneren Skleralfaserzwinge (*J.*) mit der Sehnervenscheibe (*S.*) und einem Querschnitt des Sehnervenkopfes (*K.*). (Rechtes Auge in der Ansicht von vorn bzw. linkes Auge in der Ansicht von hinten.)

Der Abschnitt der Duralscheide dicht hinter dem Bulbus bedarf einer gesonderten Untersuchung. Zietzschmann (1906) gibt an, daß die zirkulären Fasern der Dura nicht bis an den Bulbus heranreichen, und in dessen Nähe demnach nur längsverlaufende Fäden sichtbar sind. Diese Angaben können wir für das Rinderauge nicht bestätigen. Die zirkuläre Faserung reicht ganz bis an die Sklera heran und geht in sie über (Abb. 13). Es handelt sich um dasselbe typische Gewebe der inneren Durallamelle, wie wir es beschrieben haben. Zur Klärung des Faserverlaufs an dieser Stelle sind einige anatomische Feststellungen nötig. Der Ansatz der Sehnervenscheiden am Bulbus hat eine ovale Form. Die Längsachse des Ovals verläuft von dorsal, medial und caudal nach ventral, lateral und

kranial (Abb. 6)[1]. Der ventral gelegene Punkt seiner Hauptachse reicht gleichzeitig weiter nach vorn (kranial), der dorsal befindliche Punkt ist demnach zugleich der caudale. Dieses Verhalten erklärt sich aus dem schrägen Verlauf des Nervus opticus zur Augenachse und aus seinem schrägen Durchtritt durch die Sklera im unteren, äußeren Quadranten. Der Sehnerv verläuft von dorsal, medial und caudal nach ventral, lateral und kranial; also genau wie die Längsachse des ovalären Ansatzes seiner Hüllen, nur weniger steil. Der Sehnerv liegt mit der dorsomedialen Fläche dem Bulbus näher und bildet hier mit ihm einen spitzen Winkel. Der gegenüberliegende Winkel ist der größte und fast ein gerader (Abb. 4). Der Übergang der zirkulären Duralfasern in die Sklera ist besonders deutlich an der dorsomedialen Hälfte des Scheidenansatzes am Augapfel (Abb. 4, 13). Die Bündel haben den Sehnerven umfaßt und halten ihn in seiner Lage zum Bulbus fest. Der Nerv liegt hier gleichsam wie in einem Gurt, der oben in der äußeren Augenhaut verankert ist. An der ventrolateralen Hälfte des Scheidenansatzes befindet sich die Haupteinstrahlung der longitudinalen Duralfasern (Abb. 3, 4). Die innere Durallamelle zeigt hier noch typische Zirkulärfaserung, doch ist sie im Bereich der letzten Millimeter hinter dem Bulbus mit Längsbündeln untermischt.

Abb. 7. Zirkulär angeordnetes Bindegewebsfasergerüst der Arachnoidea. Vergrößerung 80mal.

Nach Zietzschmann (1906) stellt die mittlere Arachnoidalscheide ein zartes, aus feinen, sich verflechtenden Bindegewebsbündeln zusammengesetztes Häutchen dar, dessen beide Oberflächen von Endothel überzogen sind. Auf der einen Seite soll sie durch stärkere Bälkchen mit der Dura, auf der anderen durch feinere Züge mit der Pia in Verbindung stehen. Nach Martin (1912) sendet die Arachnoidalscheide zur duralen Scheide wenige, zur Pialscheide viele und ziemlich starke Bindegewebsbündel. Wir haben gefunden, daß das für die zarte Arachnoidalhülle des Sehnerven als stützende Unterlage dienende Gitterwerk von Fasern eine *zirkuläre* Anordnung besitzt (Abb. 7). Das zeigt sich schon durch Rißversuche, die ausschließlich in dieser Richtung möglich sind. Das Fasersystem läßt sich aber direkt sichtbar machen, indem man feinste Lagen an der Außen- oder Innenfläche der Arachnoides abzieht. Es handelt sich um

[1] Der Scheidenansatz hat jedoch nicht immer diese ovale Begrenzung. Man findet Augen, wo die Begrenzung des Ansatzes kreisförmig ist, die Achsen also gleichlang sind, oder gar ovale Formen mit vertauschten Achsen.

ein sehr zartes Gewebe, dessen Hauptfasern ringförmig um den Sehnerven ziehen (Abb. 7). Zwischen ihnen spinnen sich Verbindungsfäden aus. Das Netz gleicht in seiner Feinheit einem Spinngewebe. Die Zwischenräume zwischen den Fäden sind um ein Vielfaches größer als die Faserbreite selbst.

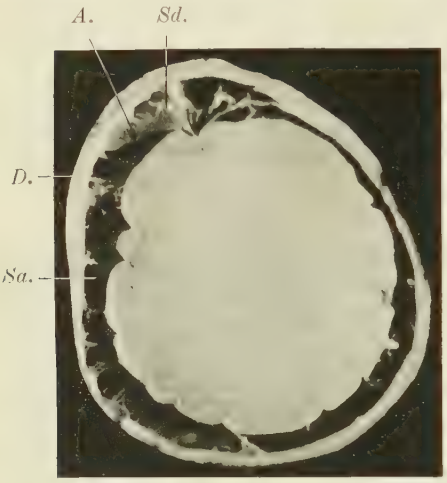

Abb. 8. Nervus opticus quer. Blick in den Subarachnoidealraum (*Sa.*) mit seinem Balkenwerk. An einer Stelle (*A.*) ist die Arachnoides von der ihr eng anliegenden Duralscheide (*D.*) abgehoben, und hier der Subduralraum (*Sd.*) weit offen. Vergr. etwa 11mal.

Die in den Intervaginalräumen befindlichen Bindegewebsbündel verhalten sich folgendermaßen zu den drei Sehnervenhüllen: Der Subduralraum ist spaltförmig, er wird von einer geringen Anzahl kurzer, dicker und unverzweigter Balken durchzogen. Der Subarachnoidalraum ist viel weiter; durch ihn zieht ein unregelmäßiges Gerüstwerk langer, mitteldicker und feinster Bälkchen, die verzweigt sind und sich miteinander verflechten (Abb. 8). Jedesmal entspricht einem gröberen Strang zwischen Dura und Arachnoides ein oft baumartig verzweigtes Bälkchengerüst im Subarachnoidalraum, das die direkte Fortsetzung des dicken Stranges darstellt. An der Grenze zwischen einfachem und verzweigten Teil der Bündel ist die Arachnoides ausgespannt (Abb. 8). Sie wird von den Balken durchsetzt und tauscht feinste Bindegewebsfäserchen mit diesen aus, indem ein Teil der zirkulären Arachnoidalfasern (anscheinend die tieferen Lagen) radiär zu den Bälkchen ziehen und in deren weiteren Verlauf übergehen (Abb. 9). Dadurch wird die Arachnoides in feste Verbindung mit dem Bälkchenwerk gebracht und im Zwischenscheidenraum ausgespannt erhalten. Sie behält aber eine gewisse Beweglichkeit, da die Balken im Subduralraum nicht auf kürzestem Wege, sondern in schräger Richtung von der Innenfläche der Dura gegen die

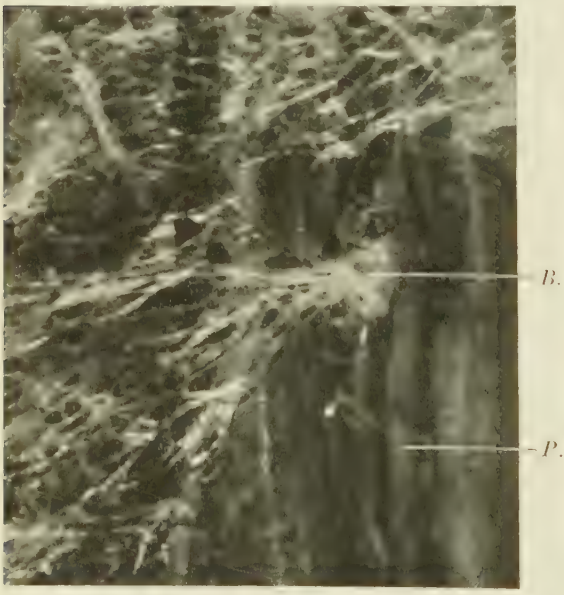

Abb. 9. Spinnwebenartige zirkuläre Faserzüge der Arachnoides auf einen Balken (*B.*) (erscheint in der Aufsicht optisch verkürzt) des Subarachnoidealraumes zu konvergierend. In der Tiefe die längs gefaltene Pialscheide (*P.*). Vergrößerung 45mal.

Arachnoides verlaufen. Mit einigen Faserbündeln verlaufen in der Arachnoides Blutgefäße, die ebenfalls in die Bälkchen eintreten können.

Von der inneren Pialscheide gibt Zietzschmann (1906) an, daß sie dem Sehnerven dicht aufliegt, daß von ihrer Innenfläche bindegewebige Septen und Balken um die einzelnen Opticusbündel herumziehen, und sie deshalb nur gewaltsam vom Opticus zu trennen ist. Wir fanden beim Rinde eine deutliche Zweiteilung dieser Hülle in eine äußere zirkuläre und innere longitudinale Schicht. Die äußere Lamelle gleicht in vieler Hinsicht dem inneren Blatt der Duralscheide. Risse gelingen nur in zirkulärer Richtung; dabei werden die Ringfasern sichtbar (Abb. 10). Für die zirkuläre Anordnung der Bindegewebsbündel spricht auch das Vorkommen von Pigmentzellen in dieser Schicht, die sich mit ihrer Längsachse in die Verlaufsrichtung der Fasern eingestellt haben. Eine andere Erscheinung deutet noch auf die zirkuläre Anordnung der Faserbündel. An den mit Chromsäure gesemperten Sehnerven beobachteten wir sehr häufig ein „champagner-

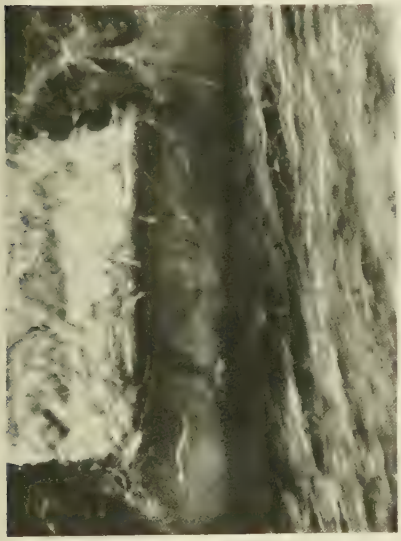

Abb. 10. Pialscheide des Nervus opticus. Links ein Einriß in die zirkuläre Lamelle, rechts die freigelegten, feinen Längsfaserbündel. Vergrößerung 23mal.

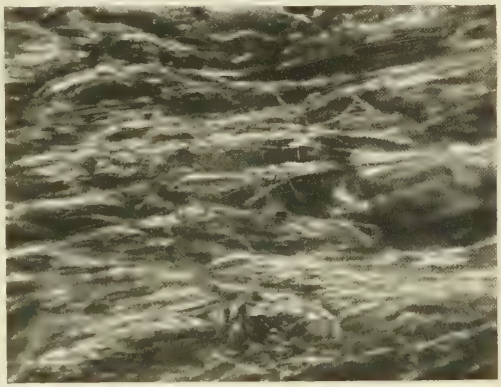

Abb. 11. Ringfaserung des äußeren Pialscheidenblattes. Vergrößerung 80mal.

kork"artiges Vorquellen der Nervenmasse am freien Schnittende. Aus dieser Erscheinung schlossen wir auf eine festere Webart der äußeren Piallamelle und auf eine ganz oder nahezu zirkuläre Richtung ihrer kollagenen Bündel. Eine rein und allein längs orientierte Faserung würde dem Druck nachgeben und auseinanderweichen. Die Pialscheide wird durch ein reiches Septensystem innerhalb des Sehnerven verstrebt und so gegen einen evtl. von innen wirkenden Druck verstärkt. Die einzelnen Fasern der äußeren Piallamelle sind sehr zart, sie liegen dicht beisammen und zeigen eine kleine und enge Wellung. Sie spalten Bündel ab und verflechten sich gegenseitig unter spitzwinkligen Überschneidungen (Abb. 11).

Die innere Lamelle der Pialscheide zeigt längsgerichteten Bündelverlauf (Abb. 10). Die Bündel liegen locker beieinander und lassen sich eine ganze Strecke

weit isoliert verfolgen. Das einzelne Bündel ist außerordentlich zart und zeigt in sehr schöner Weise eine große und weite Wellung. Äußere und innere Piallamelle hängen nicht fest miteinander zusammen. Es gehen nur einzelne Bündel der einen Schicht in die andere über und verbinden beide Lagen miteinander. Ein Teil der Längsfasern dringt zwischen die Nervenfasern ein, um die Bindegewebssepten des Sehnerven zu bilden. Die Längsfaserlage der Pia ähnelt in mancher Hinsicht der beschriebenen äußeren Duralschicht. In bezug auf den Bau der Schichten (Fasertyp, Wellung) kann man die äußere Durallamelle mit der inneren Piallamelle und die innere Durallamelle mit der äußeren Piallamelle vergleichen. Bei beiden sind die fester verwebten Blätter dem Intervaginalraum zugewandt, die locker gefügten dagegen von ihm abgekehrt. Natürlich sind die Pialfasern viel feiner und zarter als die gröberen Duralfasern.

Zusammenfassung und funktionelle Erklärung des konstruktiven Baues der Sehnervenhüllen.

Im folgenden wird auf Grund der Untersuchungsergebnisse versucht, eine kurze zusammenfassende Darstellung vom Bau der Sehnervenhüllen zu geben und diesen Bau aus der funktionellen Beanspruchung der Hüllen zu erklären.

Der Nervus opticus mit seinen Hüllen gleicht im Bau einem Kabel (Abb. 12). Die feinen Nervenfasern sind zum Schutze mit einer Anzahl Scheiden umgeben.

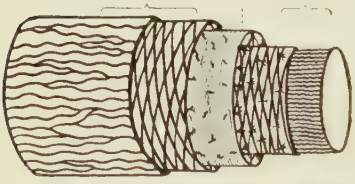

Abb. 12. Konstruktive Anordnung der kollagenen Fasern in den Sehnervenscheiden. Schematische Zeichnung. Dura (*D.*), Arachnoidea (*A.*), Pia (*P.*).

Einen besonderen Charakter erhält die Umscheidung des Nervus opticus durch das Vorhandensein eines flüssigkeitserfüllten Raumes zwischen den Hüllen, des sog. Intervaginalraumes. Da der Nervus opticus keinen starren Stab darstellt, sondern ein biegsamer und dehnbarer Strang ist, müssen auch die Hüllen für eine solche Beanspruchung geeignet und eingerichtet sein. Bei den durch Muskelzug bedingten Bewegungen des Bulbus führt der Nerv passive Mitbewegungen aus. Indem das Auge um seine Drehachsen bewegt wird, erfährt die Eintrittsstelle des Sehnerven eine räumliche Lageveränderung, die sich auf den Sehnerven als Zug-, Druck- oder Drehbewegung weiter auswirkt. Meist handelt es sich um Kombinationen aus den verschiedenen Bewegungsrichtungen. Ein gewisses Maß von Anpassungsmöglichkeit an solche Bewegungen besitzt der Nerv durch seinen nicht ganz straffen und geradlinigen, sondern gewundenen Verlauf in der Orbita. Durch Ausgleich oder Verstärkung der Windungen kann der Nerv einer Zug- oder Druckbeanspruchung nachgeben.

Die Untersuchung der Struktur der Hüllen hat aber noch eine viel feinere und vollkommenere Abstimmung und Angleichung von Bauweise und funktioneller Anforderung ergeben. Wie ein Blick auf die Abb. 12 ergibt, bestehen Dura und Pia mater aus je zwei Schichten mit gekreuztem Faserverlauf. Bei der Dura liegt die zirkuläre Schicht innen, die longitudinale außen; bei der Pia ist die Anordnung umgekehrt, die zirkuläre Schicht ist außen und die longitudinale innen. Zwischen beiden ist die feine Arachnoides mit zirkulärer Fasergürtung an ihren Befestigungsfasern ausgespannt derart, daß durch den engen Subdural-

raum einzelne schräg gespannte derbere Bälkchen verlaufen, während in dem weiteren Subarachnoidalraum reichverästelte feinere Bälkchensysteme ausgespannt sind.

Welche Beziehungen lassen sich nun zwischen der anatomischen Struktur der Opticushüllen und den mechanischen Funktionen der Sehnervenscheiden finden?

Funktionell zusammengehörig erachten wir die beiden Lamellen der Duralscheide, desgleichen diejenigen der Pialscheide. Eine gesonderte funktionelle Einheit bildet die Arachnoides. Die Duralscheide stellt ein Rohr dar, welches den äußeren Abschluß und den Schutz für den am Balkenwerk des Zwischenscheidenraumes aufgehängten Sehnerven darstellt. Die innere Schicht dieser Scheide ist infolge der zirkulären Faseranordnung vor allem auf einen von innen her wirkenden Druck eingestellt. Die Faserbündel sind kaum gewellt, dagegen reich verzweigt und verflochten; sie laufen nicht streng zirkulär, sondern kreuzen sich unter spitzen Winkeln, so daß dieser Hülle durch scherenartige Spreizung und Schließung der sich überschneidenden Bündel ein gewisses Maß von Dehnbarkeit und Anpassungsfähigkeit an die Druckschwankungen im Intervaginalraum zukommt. Die leicht wie Ringe gegeneinander verschieblichen Ringfasern können sich Dreh- und Druckbewegungen gut anpassen. Demgegenüber ist die durale Längsfaserung auf Zugwirkung eingerichtet und verhindert eine zu starke Dehnung der ihr nach innen zu folgenden Ringschicht. Die Fasern der äußeren Lamelle laufen in großen Schichten fast parallel nebeneinander, sie haben eine bedeutende Länge und verflechten sich kaum mit Nachbarfasern; mit diesen Eigenschaften kollagener Fasern ist immer starke Wellung und damit fein regulierbare Anpassung an Zugwirkung verknüpft und diese darum auch den letztgenannten duralen Längsfaserbündeln in hohem Maße eigen (Abb. 2). Der äußeren Lamelle der Duralhülle wird bei den Bewegungen des Augapfels die Aufgabe zufallen, die Zugbewegungen federnd aufzunehmen. Denselben zweischichtigen Bau wie die Duralscheide, nur in umgekehrter Reihenfolge, zeigt die Pialhülle. Die innere Längsschicht weist lange, parallel ziehende, feinste Faserbündel auf, die in ihrer Gesamtheit einem Längszug am Nerven entgegenwirken; sie schieben sich dazu polsterartig zwischen die Nervenfaserbündel und die sie umschließende Ringfaserschicht ein. Die äußere Ringlage der Pia ähnelt in ihrem Bau und der Art ihrer Funktion der inneren Duralschicht. Sie umgürtet die Nervenfasern und vermag physiologischen Druckschwankungen auf Grund ihres Baues nachzugeben. Ihre Nachgiebigkeit erreicht jedoch eine Grenze beim Auftreten abnorm hoher Drucke, worüber wegen der klinischen Bedeutung hier noch kurz berichtet sein soll. Die Pialscheide bildet mit ihrer äußeren zirkulären Schicht ein Rohr, welches den Verbindungsweg für die Nervenmasse zwischen Schädel- und Augenhöhle darstellt. Physiologischen Druckschwankungen innerhalb der durch das Pialrohr miteinander kommunizierenden Druckbereiche der Schädel- und Augenhöhle kann die zirkuläre Pialhülle auf Grund der geschilderten Bauart durch Dehnung ihrer Wand nachgeben. Bei pathologischem Überdruck in der Schädelhöhle dagegen wird sich dieser auf dem Wege der Opticusnervenmasse in der Richtung zum Bulbus fortpflanzen, wenn die äußere Ringlamelle der Pia ihr Maximum an Dehnbarkeit erreicht hat und zu einem nicht weiter

nachgiebigen, starren Rohr geworden ist. Eine ähnliche feste Umschließung der Nervenfaserbündel durch die Zirkulärschicht haben wir in Form der champagnerkorkartigen Vorquellung der Nervenmasse über den einschnürenden Pialring bei gesemperten Sehnervenstümpfen geschildert (s. S. 181). Bei der Übertragung von Überdruck aus der Schädelhöhle auf die Augenhöhle handelt es sich um ein direktes Vorpressen von Nervensubstanz des Opticus innerhalb der zirkulären Pialhülle[1]. Auf diese Weise kann auch die Entstehung einer Vorwölbung der Sehnervenscheibe in Form der Stauungspapille eine Erklärung finden. Da die weiche Nervenmasse sich bei diesem Vorgang gegen ihre zirkuläre piale Umhüllung verschiebt, werden außerdem die Vasa centralia durch Längsdehnung und Abknickung an der Stelle ihres Übertrittes von der Pialscheide in die Nervensubstanz komprimiert, so daß sich Zirkulationsstörungen dem Krankheitsbild hinzugesellen und dieses vervollständigen. Für diese Art der Entstehung einer Stauungspapille spricht, daß sie im Anschluß an Vorgänge (Operationen, Traumen) auftritt, die lediglich eine Druckverminderung im Bulbus zur Folge haben. Dabei kommt es zu einer Übertragung des Schädelhöhlendruckes auf dem Wege des Pialrohres und der Nervensubstanz gegen die durch die Eröffnung des Bulbus bedingte Stelle verminderten Druckes. Demzufolge könnte man als therapeutische Maßnahme bei Stauungspapille erwägen, durch eine Spaltung der Sehnervenscheiden einschließlich des Pialrohres eine sofortige Druckentlastung an Ort und Stelle zu erzielen. Die bisher u. a. geübte Durchtrennung der Duralscheide bei Stauungspapille geht von der Voraussetzung aus, daß durch den Liquor im Zwischenscheidenraum der Druck übertragen wird, ebenfalls eine mechanische Entstehungstheorie der Stauungspapille, die aber nicht vollständig befriedigt.

Im Intervaginalraum, der mit Liquor cerebrospinalis erfüllt ist, befindet sich, an den Maschen des dort ausgespannten Balkenwerkes aufgehängt, der Nervus opticus mit seiner pialen Umhüllung. Die auf den Gesamtnerven übertragenen Bewegungen des Bulbus werden am eigentlichen, von der Pia umhüllten Nerven durch diesen Aufhängemechanismus erheblich abgeschwächt, so daß der Sehnerv viel geringere Bewegungen ausführt. Der Arachnoides kommt dabei neben der Aufgabe, den Liquor abzuscheiden, die Bedeutung einer im Liquor flottierenden Verschiebeschicht zu, die die Bewegungen der Duralhüllen gegenüber dem Sehnerven abschwächt.

B. Übergang der Opticushüllen auf den Bulbus, der Canalis opticus sclerae und die Lamina cribrosa sclerae.

Wie gestaltet sich der Übergang der einzelnen Lamellen der Opticusscheide auf den Bulbus? Nach Zietzschmann geht das Duralgewebe ohne Grenze in das Skleralgewebe über. Daher sollen auch beide aus demselben Material sein. „An der Sklera angelangt, biegen die Durafasern unter etwa rechtem Winkel in die äußersten zwei Drittel der Sklera ein, die an dieser Stelle eine große Anzahl zirkulär um den Sehnervenkopf verlaufender Bindegewebsbündel besitzt." Zunächst können nicht alle Fasern rechtwinklig in die Sklera umbiegen, da der Sehnerv sich schräg an den Bulbus anlegt derart, daß der ventrolaterale Winkel

[1] Das Verhalten der Lamina cribrosa siehe S. 192.

zwischen Bulbus und Sehnerv ein stumpfer, der gegenüberliegende Winkel (dorsomediale) ein spitzer ist (Abb. 4). Wie dargelegt wurde, ziehen die longitudinalen Faserbündel der Dura in ventrolateraler Richtung vornehmlich zu der unteren Circumferenz des Scheidenansatzes (Abb. 3, 4). Diese duralen Längsfasern gehen somit unter stumpfen Winkeln in die Sklera über. Ihr weiteres Verhalten wird durch die Untersuchung der Sklera in der Umgebung ihres Foramen opticum klar. Auf Abrißpräparaten dieser Gegend sieht man, wie die Skleralfasern um das Foramen eine Zwinge bilden. Die Fasern dieser Zwinge laufen nicht zirkulär um den Sehnervenkopf, wie ZIETZSCHMANN angibt, sondern bilden zwei seitlich um den Sehnerveneintritt ziehende Bögen, die sich oberhalb und unterhalb des Sehnervendurchtritts überschneiden und verflechten. Die Lage dieser Zwinge und die Richtungen ihrer Achsen stimmen genau mit denen des Ansatzovals der Sehnervenscheiden (s. S. 179) überein. Da die ventrolaterale Kreuzung der Skleralfasern bei der Zwingenbildung stumpfe, die dorsomediale rechte und je weiter vom Sehnerven entfernt, immer spitzer werdende Schnittwinkel zeigt, hat die ganze Zwinge Ei- oder besser Zwiebelform mit nach unten und außen gerichteter Basis (Abb. 6). Die Längsseiten des Ovals umgreifen dabei die Schmalseiten des auf dem Querschnitt meist schon hier elliptischen Sehnervenkopfes. Der ventrolaterale Schnittpunkt der Faserzwinge entspricht zugleich der Stelle des Übertritts der Längsfaserbündel der Dura in die Sklera, wobei die von den Seitenrändern der Dura kommenden Fasern unter ventraler Konvergenz sich an der Stelle des Übergangs in die Sklera überkreuzen (Abb. 4). Jedoch treten auch zu beiden Seiten dieser Kreuzung ungekreuzte durale Längsfaserbündel in die Sklera ein. Sie gelangen unter stumpfer bis rechtwinkliger Abknickung zwischen die skleralen Fasern und verästeln sich stark. Ihre Befestigung mit der Sklera ist auf diese Weise gut gesichert. Man kann die duralen Fasern auf Kantenschnitten gesemperter Präparate bis an das innere Drittel der Skleradicke verfolgen.

Abb. 13. Opticuseintritt mit innerer Ringfaserschicht der Duralscheide. Vergr. 6mal.

Da die zirkuläre Duralfaserung entgegen der früheren Annahme bis an den Bulbus heranreicht, ist sie auch an der Einstrahlung in die äußere Augenhaut beteiligt (Abb. 4). So findet man eine Einstrahlung und Durchflechtung der zirkulären Bündel in die Sklera im Bereich der letzten 3–4 mm des intraorbitalen Abschnittes des Sehnerven (Abb. 13). Die weiter entfernt vom Bulbus gelegenen Zirkulärfasern ziehen geschlossen um den Opticus, ohne mit der Sklera in Berührung zu kommen. Der Übergang der zirkulären Duralfasern in die harte Augenhaut erfolgt im Gegensatz zur äußeren Durallamelle im mittleren und inneren Drittel der Dicke der Sklera. Die zirkulären Bündel des letzten intraorbitalen Abschnittes des Sehnerven ziehen bei ihrem ringförmigen Verlauf zum

Teil extraskleral (an der ventralen Opticusperipherie), zum Teil liegen sie bereits intraskleral (am dorsalen Umfang des Opticus, der bereits in die Sklera eingetreten ist). (Vgl. auch S. 179.)

Infolge seines schrägen Durchtritts durch den Bulbus gräbt sich der Sehnerv mit seiner dorsomedialen Fläche zunächst in die Sklera ein. Letztere verliert an dieser Stelle erheblich an Dicke und erscheint auf einem Querschnitt keilförmig. Die Spitze des Keils ist zum Foramen opticum sclerae gerichtet. Diese schwache Stelle der Bulbuswand wird vom Nervus opticus, der durch die zirkulären Dural- und Pialfasern fest an die Sklera angelagert ist, geschützt. Der Befestigung des Nerven und der Sicherung seines typischen schrägen Eintritts in den Bulbus dienen ferner die beschriebenen Längsfasern der Dura an der dorsomedialen Circumferenz des Scheidenansatzes. Zudem scheinen auch epidurale und -sklerale Faserbündel dadurch, daß sie sich in dem oberen, spitzen Pol der äußeren Skleralzwinge verankern, das Lageverhältnis zwischen Sehnerv und Augapfel mit aufrechtzuerhalten.

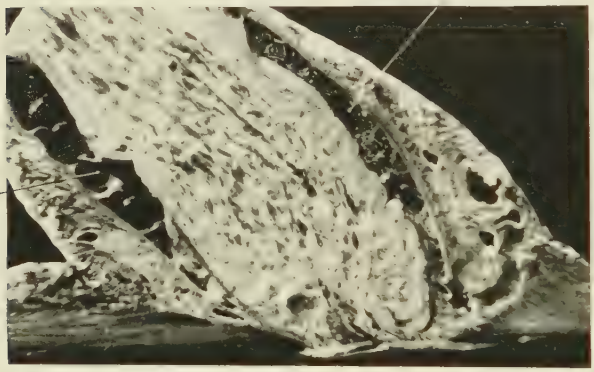

Abb. 14. Opticuseintritt in den Bulbus (Längsschnitt). Grob- (dorsal, *D.*) und feinmaschiges Balkenwerk (ventral, *V.*) im Subarachnoidealraum. Vergrößerung 9mal.

Der Intervaginalraum endet nach Zietzschmann (1906) blind am Sehnervenkopf und dringt mit der Pia bis etwa zum inneren Drittel der Skleradicke vor. Die Pialfasern sollen sich dabei größtenteils in die Sklera, weniger in die Chorioidea einsenken. Beim Rinderauge reicht nach unserer Untersuchung der Intervaginalraum höchstens bis zur Mitte der Skleradicke vor (Abb. 14). Im Bereiche der letzten 6 mm etwa hinter dem Bulbus zeigen die Arachnoides und das Balkenwerk im Zwischenscheidenraum ein anderes Verhalten als in den gehirnwärts gelegenen Abschnitten. Während das Bälkchengerüst im dorsomedialen Teil des Intervaginalraumes dem bei der Arachnoidalscheide beschriebenen gleicht, besteht das in der ventrolateralen Hälfte befindliche aus einem reich verzweigten und sehr feinen Flechtwerk (Abb. 14). Die Bedeutung dieses Unterschiedes wird klar, wenn man den Verlauf des Opticus in diesem Bereich untersucht. Der Sehnerv zeigt kurz vor seinem Eintritt in die Sklera eine geringe Krümmung mit nach vorn oben gerichteter Konkavität. Dem konvexen (ventrolateralen) Teil dieses Sehnervenabschnittes entspricht die Stelle des genannten feinen Bälkchenwerks im Intervaginalraum, dem konkaven (dorsomedialen) die des stärkeren Balkengerüstes (Abb. 14). Der Unterschied ist offenbar funktionell bedingt. Man kann sich vorstellen, daß die starken Balken auf Zug eingerichtet sind und den an dieser Stelle in nach dorsomedial konkavem Bogen verlaufenden

Nerv (wie Seile einer Hängebrücke) festhalten. Für die Zugwirkung spricht auch, daß die Arachnoides hier fester mit der Innenfläche der Duralscheide verbunden ist, so daß sie sich von letzterer schwerer ablösen läßt. Im Gegensatz dazu ist die Arachnoides an der gegenüberliegenden Seite, dort, wo die feinen Balkenfasern im Zwischenscheidenraum ausgespannt sind, von der Dura leicht ablösbar und lockerer gebaut als an den mehr gehirnwärts gelegenen Abschnitten dieser Scheide. Wir glauben, daß das an dieser Stelle des Intervaginalraumes befindliche schwammartige Maschengewebe für Druckwirkung berechnet ist. Der Nerv ruht hier an seinem tiefsten Punkt wie auf einem Polster.

Die Arachnoidalscheide reicht bis zum vorderen Ende des Zwischenscheidenraumes. Sie behält ihre zirkuläre Faseranordnung bis zuletzt bei. Durch einen innigen Faseraustausch mit Dura und Pia vermittels hier in größerer Zahl auftretender Balken wird sie in ihrem letzten Teil mit der Umgebung gut befestigt. Durch Vermischung mit zirkulären Pialfasern bildet sie schließlich den Abschluß des Intervaginalraumes.

Die Pialscheide ist im letzten Abschnitt hinter dem Bulbus gegenüber den gehirnwärts gelegenen Abschnitten verdickt. Die äußere Lamelle behält bis zu ihrem Eintritt in die Sklera die zirkuläre Anordnung ihrer Faserbündel bei. Das zeigt sich unter anderem deutlich an den beschriebenen Pigmentzellen dieser Scheide, die in derselben Richtung wie die Fasern verlaufen. Diese Zellen finden sich im äußeren Blatt der Piahülle in großer Zahl dicht hinter dem Augapfel.

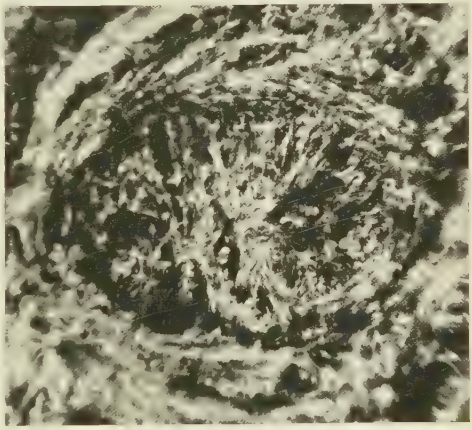

Abb. 15. Innere Skleralfaserzwinge mit skleralem Anteil der Lamina cribrosa. Vergrößerung 13mal.

Die Pia strahlt im mittleren und inneren Drittel der Skleradicke in die Bulbuswand ein. Der Übergang erfolgt vom Ende des Intervaginalraumes ab. Die pialen Ringfasern verflechten sich mit den um den Sehnervenkopf herumziehenden Skleralfasern. Auf die Weise werden die Nervenbündel des Opticus durch die äußere, zirkuläre Piallamelle nicht nur wie in den übrigen Abschnitten des Sehnerven kräftig zusammengefaßt, sondern auch fest an den Bulbus gehalten. Die nach innen zu folgenden Längsbündel der Pia reichen bis zur Lamina cribrosa, in die sie einstrahlen und an deren Bildung sie sich beteiligen.

Außer der geschilderten äußeren Skleralfaserzwinge um das Foramen opticum sclerae findet sich eine ebensolche innere. Sie umfaßt den im Bereich der Lamina cribrosa gelegenen Abschnitt des Sehnerven (Abb. 15). Die Grenze zwischen äußerer und innerer Skleralfaserzwinge liegt etwa in der Mitte der Skleradicke. Die inneren skleralen Faserbündel umgeben den Sehnerven auch als zwei sich kreuzende Halbkreistouren, deren Schnittpunkte aber an den Schmalseiten der ovalen Lamina liegen (Abb. 6). Die Längsseiten der inneren Zwinge umgeben die Längsseiten des Ovals; es besteht hier also das umgekehrte

Verhalten wie bei der beschriebenen äußeren Zwinge, d. h. die Längsachsen der Zwingen stehen senkrecht aufeinander (Abb. 6). Durch diesen teilweise gegensätzlichen Verlauf der kollagenen Fasern wird eine gute Befestigung des Bulbus im Bereich des Foramen opticum erzielt. Dabei bleibt jedoch die einzelne Faser nicht in einer bestimmten Tiefe der Sklera, sondern sie kann sich nach außen oder innen zu mit den ihr nahe gelegenen Schichten verflechten. Durch solche Verflechtungen entsteht für den ganzen Sehnervenkopf ein fast ringförmiger Einschluß durch Skleralfasern (Abb. 6). Über eine dritte, innerste, fuskale Zwinge soll im Anschluß an die Lamina cribrosa berichtet werden.

In der vorderen (inneren) Hälfte des Sklerotikalkanals befindet sich die *Siebplatte*, Lamina cribrosa. Der Kanal verjüngt sich bekanntlich wie der Sehnervenkopf nach vorn hin konisch, da die Nervenfasern infolge ihres Markscheidenverlustes an Volumen abnehmen. Die das Foramen umgebende Skleralwandung ist nicht überall gleich dick. Sie nimmt entsprechend der Längsachse des Ansatzovals der Sehnervenscheiden von lateral unten, wo sie am stärksten ist, kontinuierlich nach oben und medial ab. Dieses Verhalten hängt wiederum mit dem Schrägverlauf des Sehnerven zusammen, dessen Richtung wie die Längsachse seines Scheidenansatzovals von kranial unten temporal nach caudal oben nasal orientiert ist. Der schwächste Teil der den Sklerotikalkanal umgebenden Wand wird durch den spitzwinklig aufgelagerten Nervus opticus geschützt, während der gegenüberliegende stärkste Abschnitt der Sklera von dem Sehnervenstamm am weitesten abliegt (Abb. 14). Dieses verschiedene Verhalten der Skleradicke um das Foramen opticum tritt bei den üblichen mikroskopischen Schnittpräparaten dieser Gegend nicht so deutlich hervor. Man könnte bei deren Betrachtung eine umgekehrte Vorstellung bekommen, da sich in dem dorsomedialen Spalt zwischen Opticus und Bulbus viel episklerales Bindegewebe mit der Sklera verbindet. An gesemperten Präparaten ist das beschriebene Verhalten der Sklera leicht festzustellen, da man das lockere Gewebe von ihr entfernen kann. In dem erwähnten Spaltraum zwischen Sehnerven und Augapfel liegen außer dem reichlich vorhandenen episkleralen Bindegewebe noch Fettgewebe, Gefäße, Nerven und quergestreifte Muskelfasern. Letztere strahlen sehnig in die Sklera ein. Es handelt sich bei diesen Muskelfasern wohl um die von Ischreyt (1899) genannte zweite Insertion des Musculus retractor bulbi. Seine Bündel sollen nämlich nicht an der üblichen Stelle dicht hinter dem Äquator, sondern quer über dem hinteren Abschnitt der Skleralkapsel dicht oberhalb des N. opticus inserieren.

Auch die Lamina cribrosa ist nicht an allen Stellen gleich dick. Auf einem Querschnitt durch Sehnerv und ovale Lamina in Richtung ihrer kleinen Achse erkennt man, daß die Siebplatte von ventral nach dorsal allmählich an Dicke abnimmt (Abb. 16). Dies hängt zusammen mit der geschilderten verschiedenen Dicke der Sklera im Bereiche des Kanals. Während aus dem ventrolateral gelegenen dicken Abschnitt der Sklera Faserbündel aus der inneren Hälfte der Skleradicke in die Lamina einstrahlen, findet entsprechend der Spitze des skleralen Conus an der dorsomedialen Umrandung des Opticuskanales eine dieser verschmälerten Sklerastelle entsprechende schmale Einstrahlung von Fasern in die Lamina statt (Abb. 16). Auf einem Querschnitt durch die Lamina dagegen in

Richtung der Längsachse des Ovals erscheint ihre Dicke ziemlich gleichmäßig (Abb. 17). In der Mitte ist sie allerdings etwas dicker, was sich an einer stärkeren Krümmung der Hinterfläche der Lamina zu erkennen gibt. Die ganze Siebplatte besitzt also die Form eines Keiles mit nach temporal und unten gerichteter Basis und nach hinten konvexen Flächen. An die Außenseite der Lamina cribrosa heftet sich unter ausgiebigem Faseraustausch der zentrale Bindegewebsstrang des N. opticus, der sich zum unteren Rand des Sehnerven in ein Bindegewebsseptum verbreitert. Von dieser Bildung ist auf S. 192 weiter die Rede.

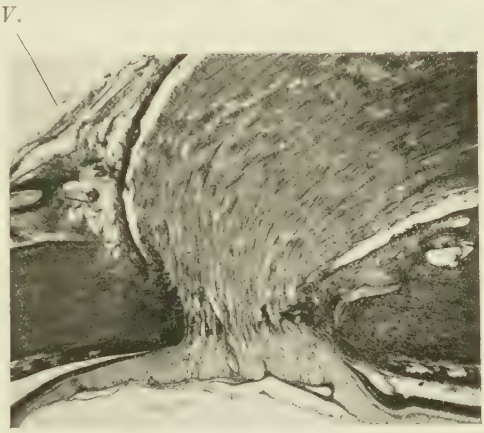

Abb. 16. Opticuseintritt in den Bulbus (Längsschnitt). Darstellung des Opticuskanales und der (pigmentierten) Lamina cribrosa. (Schnittpräparat im durchfallenden Licht photographiert.) *V.* = ventral. Vergrößerung 13mal.

Die Winkel, welche die Wand des Sklerotikalkanales mit der angrenzenden inneren Skleralfläche bildet, sind verschieden. Im ventrolateralen Teil des Kanals beträgt dieser den sog. Skleralring einfassende Winkel 90 Grad, in den seitlichen Partien ist er spitz und nach dorsomedial zu stumpf (Abb. 16). Ein Skleralsporn, d. h. ein spitzwinklig vorspringender innerer Skleralrand, findet sich nur an den seitlichen Rändern des Skleralkanals (Abb. 17).

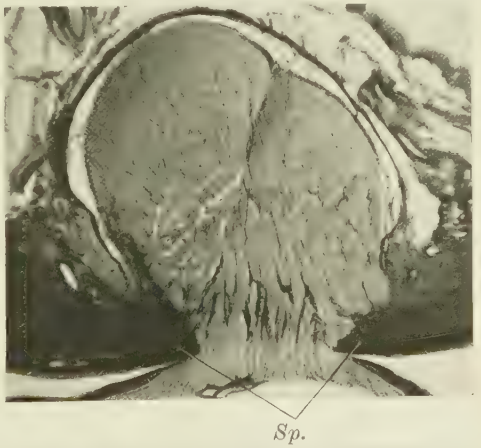

Abb. 17. Opticuseintritt in den Bulbus (Schrägschnitt). Darstellung des Opticuskanales, Skleralsporns (*Sp.*) und der (pigmentierten) Lamina cribrosa. (Schnittpräparat im durchfallenden Licht photographiert.) Vergr. 13mal.

Über den stumpfwinkeligen, abgerundeten, dorsomedialen Rand des inneren Skleralwalles (Abb. 16) verlaufen nun die größeren Äste der Zentralgefäße, um in die Netzhaut zu gelangen. Diese Stelle schützt sie am besten vor Abknickung. Die Vasa centralia benutzen zum Durchtritt durch den Sehnerven das nach unten gerichtete Bindegewebsseptum, den zwischen den parallel gerichteten Nervenbündeln liegenden axialen Bindegewebsstrang und das Zentrum der Sehnervenscheibe.

Hier sei eine Bildung erwähnt, die wir bei der Untersuchung der Vasa centralia fanden. Die cilioretinalen Äste des den Sehnervenkopf umgebenden Zinnschen Gefäßkranzes bilden beim Rinderauge die zentralen Gefäße des Opticus und der Retina. Sie dringen nahe der Sklera von ventral her in den Sehnerven ein. Dabei durchbohren sie seine Scheiden in folgender Weise. Die äußere Lamelle der Dura bietet für den Durchtritt keine Schwierigkeiten. Die Längsbündel

weichen auseinander, und die Gefäße sind nur von lockerem Bindegewebe umgeben. Die innere zirkulär gefaserte Lamelle dagegen bildet für den Durchtritt der Gefäße ein stumpfwinklig-dreieckiges Tor, dessen Basis die Sklera darstellt und dessen von der Dura gebildete Schenkel an den Sehnerven angelegt sind (Abb. 18). Diese Schenkel, in deren Richtung auch die Faserbündel verlaufen, sind breit und kräftig und mit der Sklera, Dura und Pia fest verbunden. Auch die Arachnoides zeigt an dieser Stelle nicht ihre gewohnte zirkuläre Faseranordnung, sondern sie strahlt radiär auf die Spitze des Dreiecks zu und verflechtet sich mit seinen Fasern. In diesem von Faserzügen begrenzten Dreieck liegen, in lockerem Bindegewebe eingebettet, die Zentralgefäße. Sie passieren auf die Weise die Opticusscheide, ohne der Gefahr eines Druckes ausgesetzt zu sein.

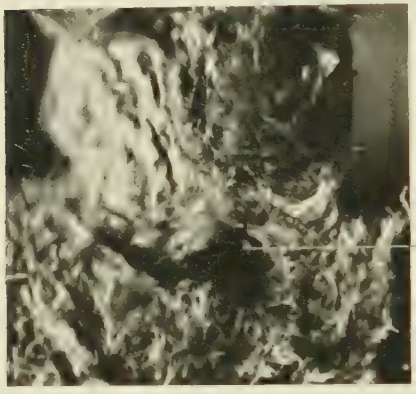

Abb. 18. Opticuseintritt in den Bulbus (von unten s. ventral gesehen). Fasertor (*T.*) der inneren Lamelle der Duralscheide für den Eintritt der Zentralgefäße in den Sehnerven. (Die Duralscheide des Nervus opticus ist entfernt.) Vergr. etwa 10mal.

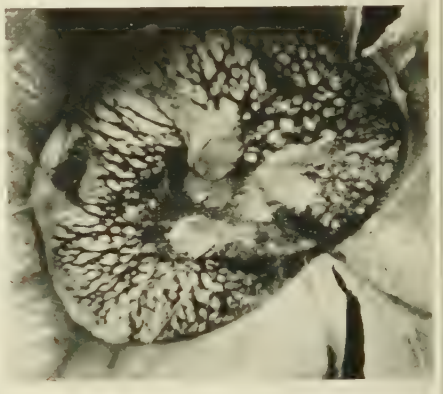

Abb. 19. Sehnervenscheibe, typische ovale Form. Darstellung der (stark pigmentierten) Lamina cribrosa mit den Durchtrittsstellen für die Zentralgefäße, die selbst blutleer und kollabiert sind. (Halbtrockenes Präparat.) Vergr. etwa 10mal.

Die Siebplatte selbst besitzt meist eine ovale Form, deren Achsen dieselben Richtungen wie die der Sehnervenscheibe besitzen (Abb. 19). Doch kommen auch mehr rundliche Formen oder gar solche mit umgekehrter Achsenstellung vor. Exzentrisch in der Platte finden sich mehrere große Löcher zum Durchtritt für die Vasa centralia (Abb. 19). Die eigentlichen Sieblöcher für die Nervenfasern lassen eine radiale Reihenstellung erkennen, da die Hauptbalken der Lamina radiär gestellt sind, zwischen denen sich feinere ausspannen, um die einzelnen Fächer für die Nervenfaserbündel zu bilden. Im einzelnen ist die Form der Löcher, deren Größe sehr schwankt, in der Peripherie der Siebplatte radial elliptisch, zu den Zentralgefäßen hin dagegen mehr rund (Abb. 19). Neben kleineren Löchern kommen mittelgroße und gröbere Lücken in der Platte vor. Die größten finden sich im dorsalen Teil als elliptische Öffnungen. Der ventrale Abschnitt ist im mittleren Bereich frei von Durchtrittsöffnungen für Nervenbündel. Dort können wie im Zentrum Gefäßlöcher liegen oder die Stelle ist von dem Bindegewebsseptum erfüllt (Abb. 19). Die Dichte des radiären Fasersystems, welches die Lamina cribrosa bildet, nimmt von außen nach innen zu.

Während hinten zunächst einzelne Balken vom Septum aus zur dorsalen Umrandung der Siebplatte ziehen, strahlen sie, je weiter man nach vorn kommt, auch in die seitlichen Partien ein (Abb. 20*a*—*d*). Die stärksten Balken liegen im skleralen Bereich der Lamina. Die feinsten finden sich vorn im gliösen Teil; die Gliabälkchen bilden ein weitmaschiges Netz. Die Zentralgefäße sind vorn jedoch von kräftigen Gliabalken umgeben. Im Bereich der Lamina fusca ist die Siebplatte am dichtesten, und ihre Löcher sind am feinsten.

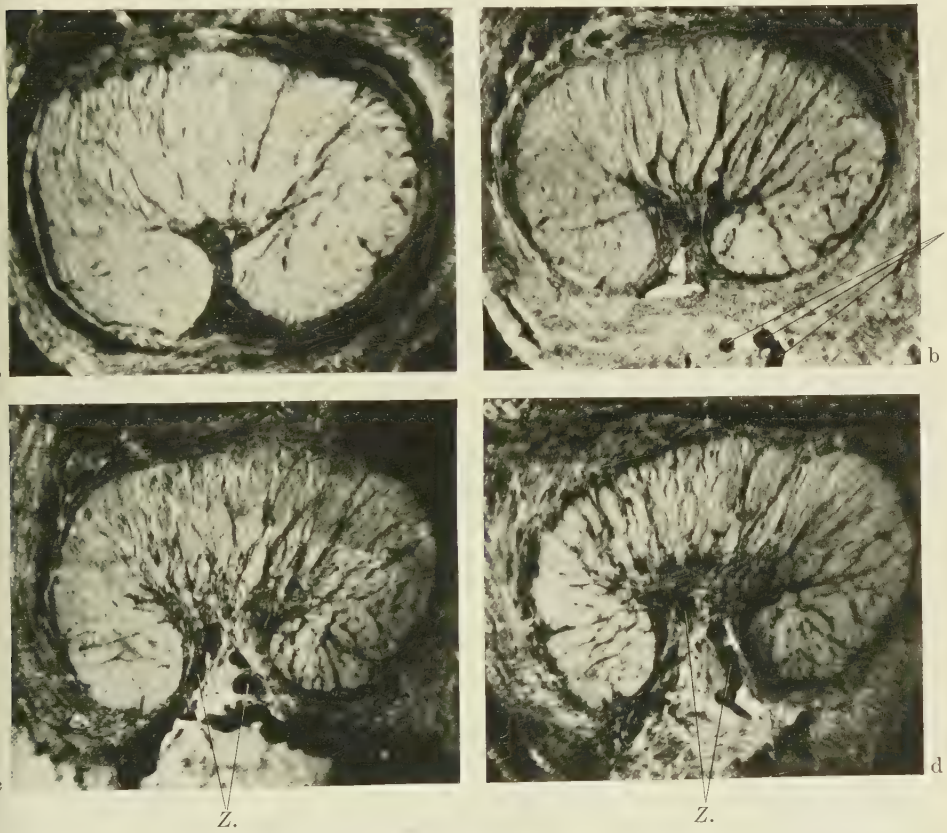

Abb. 20a—d. Bindegewebsseptum des intraskleralen Abschnittes eines Sehnerven und die Beziehungen zur Lamina cribrosa. Vier bulbuswärts fortschreitende Querschnitte in Abständen von je etwa 0,4 mm am gleichen Präparat. *Z.* = Zentralgefäße. Vergrößerung 16mal.

Eine Unterteilung der Lamina cribrosa ist von verschiedenen Gesichtspunkten aus vorgenommen worden. P. Eisler (1930) gibt bei der Lamina des menschlichen Auges der Unterscheidung zwischen bindegewebigem und gliösem Teil den Vorzug. Danach wäre am Rinderauge ein starker, bindegewebiger, hinterer Abschnitt von einem sehr schwachen vorderen, rein gliösen zu trennen. Key und Retzius (nach Zietzschmann) nehmen einen skleralen und chorioidalen Anteil der Lamina cribrosa an. Nach unseren Untersuchungen besteht die Siebplatte des Rindes ganz hinten aus einem ganz kleinen Anteil pialen Gewebes,

und zwar in der Hauptsache aus ihren umbiegenden longitudinalen Fasern, im mittleren Hauptbezirk aus skleralem Gewebe, das nach vorn zu einen Unterabschnitt als fuskalen Teil der Lamina erkennen läßt, dann einem geringen Teil der Chorioidea und ganz vorn aus einem zarten gliösen Abschnitt. Sie alle lassen sich am Faserpräparat gesondert darstellen.

Kuhnt (nach Zietzschmann) nimmt an, daß durch Einstülpung der Pialscheide durch die cilioretinalen Äste des Zinnschen Gefäßkranzes die Lamina erst gebildet würde. Wir fassen die Lamina cribrosa als eine vom Bindegewebsseptum des N. opticus nur zum Teil abhängige Bildung auf und erachten die Beteiligung der skleralen, gliösen, fuskalen, pialen und chorioidalen Faserelemente für wesentlich und sichergestellt. Für die funktionelle Ausbildung und Bedeutung der Lamina lassen sich genügend Faktoren angeben. Durch die Lamina cribrosa wird erstens eine Befestigung und Verstrebung des Bulbus im Bereich seines Foramen opticum erzielt. Das wird bewirkt durch den radialen Verlauf der kräftigeren Balken, während die schwachen sich zwischen diesen ausspannen. Dem axialen Bindegewebsstrang und -septum kommt dabei die Bedeutung als Ausgangs- und Verankerungspunkt der Hauptbalken zu neben der Aufgabe, durch den Nerven hindurch einen geschützten Weg für die Zentralgefäße zu bahnen. Noch eine andere Bedeutung sei hier erwähnt. Am Fuße des Septum treten reichlich Skleralfasern in dieses über. Da sich das Bindegewebsblatt (Abb. 20*a*) noch eine Strecke weit (etwa 0,5 cm) caudalwärts verfolgen läßt, kommt ihm auch eine Wirkung bei der Aufrechterhaltung des Winkels zwischen Bulbus und Sehnerven zu (Abb. 4). Alle genannten Faktoren, die diese Winkelstellung des Nervus opticus zum Bulbus bewirken, halten wir auch verantwortlich für die ovale Form des Sehnervenquerschnittes im Skleralkanal bzw. dicht hinter ihm, und damit der Sehnervenscheibe überhaupt. Das Oval ist also rein mechanisch bedingt durch den Schrägverlauf und -eintritt des Nervus opticus. Die Hauptachse des Ovals muß dabei von lateral-oben nach medial-unten gerichtet sein infolge des geschilderten (senkrecht dazu orientierten) Verlaufs des Nerven von medial-hinten oben nach lateral- vorn unten.

Die Siebplatte stellt weiter eine zwischen den beiden Druckbereichen der Augen- und Schädelhöhle, die durch den Sehnerven miteinander verbunden sind, ausgespannte Wand dar, die bis zu einem gewissen Grade Druckschwankungen der genannten Räume aufzuhalten vermag. Das zeigt sich deutlich bei den pathologischen Zuständen des Glaukoms und der Neuritis nervi optici infolge intrakranieller Druckerhöhung. In dem einen Falle wird sie nach hinten, im anderen nach vorn ausgebuchtet. Bei der Neuritis nervi optici auf Grund von Überdruck in der Schädelhöhle verhindert die Lamina eine noch weitere Vortreibung der Nervenmasse des Opticus, die sich als Stauungspapille kundgibt (s. auch S. 183—184).

Durch die Löcher des Siebes selbst wird endlich eine erste Bündelung und Gruppierung der Nervenfasern erzielt, während die einhüllenden und stützenden Gewebe von ihr zunächst ihren Ursprung nehmen. Daß diese Umscheidung im Gegensatz zum übrigen Verlauf des Nerven diese Stärke erreicht, hängt mit den geschilderten mechanischen Aufgaben der Lamina cribrosa als Teil der Bulbuswand zusammen.

Als letzte Bildung am Sklerotikalkanal nennen wir die Zwinge der Lamina fusca sclerae um das Foramen opticum. Diese Zwinge ist sehr klar im Aufbau und leicht darzustellen, indem man die Chorioidea durch Abreißen von der inneren Bulbusfläche entfernt. Die Zwinge kommt dadurch zustande, daß die lockeren Blätter der Lamina fusca sich im hintersten Bereich des Bulbus zu gerichteten Fasern verdichten. Dieser gerichtete Faserbereich erstreckt sich dorsal vom Kanal über einen größeren Bezirk der Sklerainnenfläche, während nach unten (ventral) bald wieder das lockere, fuskale Gewebe beginnt. Die Bündel strahlen radiär auf das Foramen zu; sie umgreifen es dabei nicht gleichmäßig, sondern konzentrieren sich um seine obere und temporale Umrandung. Die von oben kommenden Faserbündel teilen sich, am Rande des Kanals angelangt, oft gabelförmig, wobei eine schwächere Portion die nasale, die stärkere die temporale Circumferenz umgreift. Nach ventral zu laufen die Fäden bald in die fuskalen Lamellen aus, nachdem einige den Ring um das Foramen opticum geschlossen haben. Dieser Zwinge fällt wohl die Aufgabe zu, die Chorioidea und die auf ihr ruhende Retina im hinteren Bulbusabschnitt und um den Sklerotikalkanal herum fester an die Sklera anzuheften. Das geschieht besonders oberhalb der Durchtrittsöffnung des Nerven und vor allem an der temporalen und oberen Umrandung seines Durchtrittsovals.

C. Die Sclera bulbi.

Wir kommen nunmehr zum Bulbus und beschreiben den Bau der harten Augenhülle im hinteren, mittleren und vorderen Abschnitt. Unsere Aufgabe ist es, die Verlaufsrichtungen und Hauptverflechtungstypen der kollagenen Fasern in den einzelnen Abschnitten und Tiefen der Wandung der Sklera darzustellen, um dadurch zum Verständnis des konstruktiven Baues der Sklera zu kommen. Als Untersuchungsmethode haben wir das oben geschilderte Abreißen von Gewebslamellen in verschiedener Richtung und Tiefe benutzt, wobei das Schnittverfahren ergänzend hinzukommt.

Mit Bau und Mechanik der Rindersklera hat sich Ischreyt (1899) eingehend befaßt. „Auf Grund der mikroskopischen Einzelheiten" kommt er zu folgendem „System eines Bündelverlaufs . . .: Im hinteren Abschnitt der Sklera verlaufen die Bündel vorwiegend in schräger Richtung, etwa nach Art der Seidenschnüre des Netzes eines Gummigebläses, und schneiden sich ungefähr unter einem rechten Winkel. Ob sie nach vornhin in eine rein meridionale Richtung umbiegen oder sich allmählich unter den hinzukommenden neuen Bündeln verlieren, ist unentschieden. In der Gegend des Retractor treten oberflächliche Ringbündel (äquatoriale) auf, zwischen welche sich die Verlängerungen der Sehnen in meridionaler Richtung einsenken. Ähnliches ist bei den Insertionen der geraden Muskeln der Fall. Die Sehnen senken sich strahlenförmig in die Tiefe, verästeln sich und nehmen zwischen sich Ringbündel auf. Ein Gurt kräftiger Ringbündel liegt außerdem noch außen dieser Zone auf und stützt so auf vollkommene Weise die Verankerung der Muskelsehnen. Am Limbus verwirrt sich das bisher verhältnismäßig einfache Gewebe zu einem dichten Filz. . . . In welcher Weise sich die Sehnen der Obliqui in die Sklera einsenken, konnte aus den vorhandenen Präparaten nicht ersehen werden. Zur Feststellung dieser Verhältnisse scheinen Serienschnitte nötig."

Bevor wir mit der speziellen Beschreibung des Faserverlaufs in der Sklera beginnen, seien einige bekannte anatomische Verhältnisse des Rinderauges angegeben. Der Augapfel des Rindes ist an der Vorder- und Rückfläche abgeplattet. Der Querdurchmesser beträgt 40—41 mm, der Längendurchmesser 41—42 mm. Die Dicke der Sklera mißt hinten 1,9—2,2 mm, am Äquator 1,0 mm, am Cornealrand 1,2—1,5 mm. Der Durchtritt des Sehnerven durch den Bulbus liegt 4 bis 5 mm lateral und 7—9 mm ventral vom hinteren Augenpol. Die Maße der ovalen Sehnervenscheibe betragen 5,5:4,6 mm; dabei liegt meist das temporale Ende der Längsachse dem horizontalen Meridian näher als das nasale (vgl. Abb. 6). Die Hornhaut hat Eiform, ihre Längsachse steht horizontal. Die vertikalen Durchmesser der Cornea verkürzen sich temporalwärts, während sie nasalwärts noch eine Strecke gleich bleiben (Abb. 21). Am Bulbus inserieren: 4 Mm. recti, 2 Mm. obliqui und der Grundmuskel, M. retractor bulbi (Abb. 21). Die Insertionen der geraden und schrägen Augenmuskeln liegen ziemlich nahe dem Limbus corneae, wobei die Ansätze der Obliqui zwischen denjenigen der Recti und dem des Retractor gelegen sind. Verschmelzungen der Obliqui mit den benachbarten Teilen des Retractor werden beobachtet. Die Insertionsstellen der vier Rectussehnen an der Sklera entsprechen nach vorn konvexen Bögen. Die Breite der Ansätze ist beträchtlich. Der M. retractor hat 4 den Mm. recti entsprechende Portionen und bildet einen fast geschlossenen Ring. Der Muskel inseriert hinter dem Äquator an der Sklera. Er reicht unten und innen am nächsten an den Äquator heran.

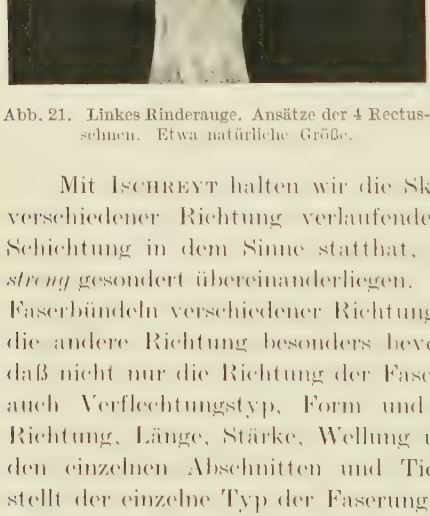

Abb. 21. Linkes Rinderauge. Ansätze der 4 Rectussehnen. Etwa natürliche Größe.

Mit Ischreyt halten wir die Sklera des Rindes für ein Flechtwerk von in verschiedener Richtung verlaufenden Bündeln, wobei an keiner Stelle eine Schichtung in dem Sinne statthat, daß Lagen verschiedener Verlaufsrichtung *streng* gesondert übereinanderliegen. „Überall handelt es sich um ein Gewebe aus Faserbündeln verschiedener Richtung, wenn auch häufig bald die eine und bald die andere Richtung besonders bevorzugt ist." Dem können wir hinzufügen, daß nicht nur die Richtung der Fasern einem Wechsel unterworfen ist, sondern auch Verflechtungstyp, Form und Aussehen der Faserbündel sich ändern. Richtung, Länge, Stärke, Wellung und Verflechtung der Fäden sind somit in den einzelnen Abschnitten und Tiefen der Skleralwand verschieden. Dabei stellt der einzelne Typ der Faserung den jeweiligen Ausdruck einer bestimmten funktionellen Beanspruchung in dem betreffenden Skleralabschnitt dar.

Die folgenden Schilderungen schließen sich an die Untersuchung meines Lehrers H. Becher an, dem ich die Anregung zur Beschäftigung mit diesem Thema verdanke. In einer kürzlich erschienenen Veröffentlichung (1932) hat H. Becher den Bau der Sklera vom konstruktiven Gesichtspunkt aus geschildert. Die nachstehende Darstellung bringt bei gleichen Ergebnissen eine ausführlichere

und ergänzende Behandlung der Einzelbefunde, wobei auf die Bechersche Arbeit zu verweisen ist, da die dort beigefügten Abbildungen hier nicht wiederholt sind, sondern in der Auswahl der Bilder eine Ergänzung und Vervollkommnung angestrebt ist.

a) Hinterer Bulbusabschnitt.

Charakteristisch für die hintere Kalotte des Augapfels ist zunächst die äußerst innige Verflechtung der Skleralfasern. Der Vergleich dieses Gewebes mit den Seidenschnüren eines Gebläsenetzes, den Ischreyt wählt, gibt, wenn man die Verhältnisse ganz vereinfacht erklären will, ein ziemlich gutes und für die äußeren Lagen im ganzen richtiges Bild. Auch die von ihm angegebenen rechtwinkligen Kreuzungen sind häufig. Doch finden sich ebenso viele spitz- bzw. stumpfwinklige Überschneidungen von Faserbündeln. Auf Kantenschnitten ist es kaum möglich, hier zu einer wahren Vorstellung von der flächenhaften Anordnung der Fasern zu kommen; wohl vermögen sie uns über deren Tiefenausdehnung zu unterrichten. Doch gilt hierfür allgemein, wie Ischreyt (1899) von der menschlichen Sklera berichtet, daß die Verflechtung der übereinanderliegenden Bündel meist unter sehr spitzen Winkeln geschieht: „senkrecht in die Tiefe gehende Bündel findet man nirgends, wenig geneigte selten". Diese für die vordere Bulbushälfte gemachten Angaben müssen wir für die hintere Hälfte der Rindersklera nur dahin abändern, daß sich dort kleinere Abzweigungen von Faserbündeln mehr oder weniger steil in benachbarte Lagen verästeln. Mit dem genannten Autor sind auch wir der Ansicht, daß die flächenhafte, gegenseitige Verflechtung der Bündel in einer Schicht oder in unmittelbar übereinander gelegenen Schichten eine viel innigere ist als die Tiefenverflechtung der Fasern in der ganzen Dicke der Sklera.

In den einzelnen Schichten der hinteren Kalotte finden sich Lagen mit fast entgegengesetzter Verlaufsrichtung der kollagenen Fasern, wodurch offenbar die Festigkeit der Bulbuswand erhöht wird. In bezug auf Form und Verflechtungstyp der kollagenen Fasern unterscheiden wir an der hinteren Bulbushälfte zweierlei Formen: den breiten Bandtyp und den Fächertyp. Letzterer findet sich nur in der hinteren Skleralhälfte, und zwar in den inneren Schichten ihrer Wandung. Die Faserbündel teilen sich fächerförmig auf und verflechten sich mit benachbarten, indem die Spaltbündel wie Finger ineinandergreifen oder indem sich ein Fächer über den anderen schiebt; dabei tritt ein gegenseitiger Austausch von Fasern ein. Die Form der Fächer selbst ist im einzelnen verschieden. Es finden sich solche mit nach beiden Seiten bogenförmig und solche mit geradlinig sich aufteilenden Strahlen. Von diesen Faserbündeln, deren Länge schwer bestimmbar ist, da sie fortgesetzt durch Aufnahme und Abspaltung ihren Bestand ändern, wird keine bestimmte Richtung bevorzugt. Nach der äußeren Oberfläche der Sklera zu macht die genannte Faserform einer anderen Platz, die wir den breiten Bandtyp nennen wollen. Auch diese Bänder verästeln sich, jedoch lange nicht in dem Maße wie die fächerförmigen. Bei ihnen läßt sich eher eine Richtung angeben und für sie paßt der Vergleich Ischreyts mit den Seidenschnüren eines Gummigebläses. Auf das Foramen opticum sclerae hin sind die nahezu rechten Winkel der Faserkreuzungen so gestellt, daß die durch die Scheitelpunkte gehen-

den Meridiane sie halbieren. In nächster Nähe des Sklerotikalkanals finden sich dann noch die genannten Skleralzwingen. Von der äußeren wäre hier nachzutragen, daß ihre obere Spitze auf den hinteren Augenpol zu gerichtet ist. Von diesem Pol strahlen die Zwingenfasern auf das Foramen opticum zu. Diese Faserbündel sind viel länger als die der hinteren Kalotte im allgemeinen: sie zeigen dazu eine auffallend starke Wellung und geringe Verzweigung. Die von dem hinteren Augenpol kommenden Bündel schlagen zwei Richtungen ein derart, daß der Opticuskanal an beiden Seiten umfaßt wird. Diesem langen, gewellten Fasertyp, der vom hinteren Augenpol ausgehend den Nervus opticus bei seinem Eintritt in der beschriebenen Zwingenform umfaßt, wird eine besondere Bedeutung in der Befestigung und Stellung des Sehnerven zum Bulbus zuzusprechen sein.

Die Faserbündel des hinteren Bulbusabschnittes sind im allgemeinen stärker und verzweigter als die des vorderen. Eine Wellung der einzelnen Fibrillenbündel ist bei ersteren nur schwach angedeutet. Der Grad der Wellung unterliegt nämlich bestimmten Bedingungen. Bei unseren Untersuchungen an Sehnervenhüllen und Sklera fanden wir eine stark ausgeprägte Wellung der Faserbündel stets mit folgenden anderen Fasereigenschaften verbunden: 1. großer Faserlänge, 2. geringer eigener Verzweigung, 3. geringer Verflechtung mit anderen Bündeln sowohl in der Fläche wie in der Tiefe, 4. breiter und dabei dünner Faserform, 5. geradlinigem Verlauf. Diese Merkmale finden sich besonders stark ausgeprägt an den kollagenen Bündeln der äußeren Duralscheide und inneren Pialscheide und an den unten zu schildernden Bündeln der Augenmuskelsehnen. Gut ausgebildet ist die Wellung bei den langgestreckten Fasern des Äquators, wie weiter unten noch zu erwähnen sein wird. Die Bedeutung der Wellung und ihre Ursache haben wir bei der Duralscheide geschildert.

Was die Stärke der kollagenen Faserbündel in den verschiedenen Tiefen der Wanddicke betrifft, so läßt sich generell für die Sklera feststellen, daß im mittleren Bereich ihrer Dicke die gröbsten Bündel liegen. Zur äußeren Oberfläche, d. h. zur Episklera hin, findet eine Abnahme ihrer Dicke statt. Dieses Zarterwerden der Fasern ist jedoch besonders deutlich und gut zu verfolgen nach den innersten skleralen Lagen hin. Der Übergang von den stärksten zu den allerfeinsten Fäden ist ziemlich unvermittelt und erfolgt unter Zwischenschaltung nur einiger Faserformen mittlerer Dicke. An den zu innerst gelegenen Faserschichten kann man den jeweils charakteristischen Faserungstyp am besten erkennen.

Nach dem Äquator zu läßt sich immer deutlicher eine meridionale Faserrichtung der Bündel erkennen, die für diesen Bereich in der ganzen Dicke der Sklera vorherrscht. Es handelt sich meist um die breiten bandförmigen Bündel, die sich hinter den Ansätzen des Retractor schon unter ziemlich spitzen Winkeln mit Nachbarfasern kreuzen und verflechten (Abb. 22). Hinter dem Retractoransatz kommen in den oberflächlichen Lagen einzelne äquatoriale Faserzüge, die mehr oder weniger selbständig und gut ausgesprochen sein können, zur Beobachtung.

Im ganzen decken sich die Ergebnisse unserer Untersuchungen mit denen Ischreyts (1899). Der Autor beschreibt seine an den mikroskopischen Schnitt-

bildern gewonnenen Ergebnisse folgendermaßen: „Die Streifen aus dem Abschnitt hinter dem Retractoransatz zeigen in ganz hervorragendem Maße Schrägschnitte, ob sie nun in äquatorialer oder meridionaler Richtung excidiert worden sind. Sie haben unter dem Mikroskop ein mehr homogenes, gleichgefärbtes Aussehen. Ausgesprochene Quer- und Längsschnitte sind verhältnismäßig wenig vorhanden. . . . Schräg excidierte Streifen der hinteren Kalotte zeigen dagegen vorherrschend Längs- und Querschnitte. Mit dem Augenblick nun, wo wir uns von hinten her dem Retractoransatz nähern, verändern die äquatorialen und meridionalen Schnitte ihr Aussehen. Die schräg getroffenen Bündel treten ganz zurück und an ihre Stelle kommen ausgesprochene Längs- und Querbündel." Aus einer solchen Beschreibung der mikroskopischen Schnittbilder ist es aber äußerst schwer, sich ein plastisches Bild von dem wirklichen Verhalten des Faserverlaufs zu machen. Erst nachdem wir nach unserer Untersuchungsmethode die Struktur der hinteren Kalotte aufgeklärt, geschildert und durch Photos belegt haben, ergibt sich die Übereinstimmung mit den Resultaten der Schnittbilduntersuchung.

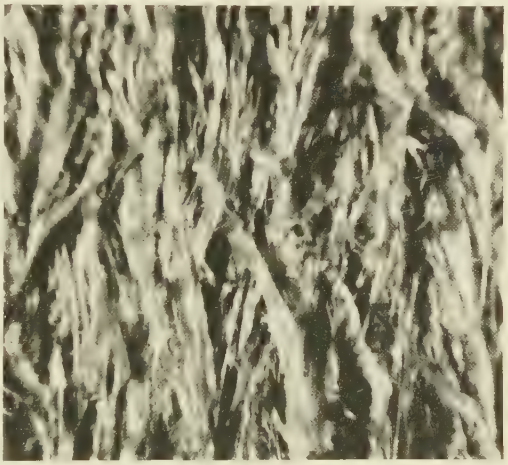

Abb. 22. Skleralfaserung in den äußeren Skleraschichten dicht hinter dem Retractoransatz. Bandform der meridional gerichteten Faserbündel. Vergrößerung 28mal.

Als letztes Kriterium für den Faserverlauf in der hinteren Kalotte führen wir wieder die Einordnung der Pigmentzellen in die Faserrichtung an der inneren Skleralfläche an. Diese Zellen sind hier so reichlich angeordnet, daß die Innenfläche der Sklera gleichmäßig dunkelbraun aussieht. Bei stärkerer Vergrößerung, vor allem nach Aufhellen der inneren Skleraloberfläche durch Canadabalsam, erkennt man, daß die einzelnen Pigmentzellen in allen Richtungen ziehen entsprechend dem fächerförmigen, keine bevorzugte Richtung aufweisenden Verlauf der benachbarten kollagenen Bündel im Bereich des hinteren Abschnittes der hinteren Kalotte. Im vorderen Abschnitt der hinteren Kalotte, d. h. auf die Äquatorgegend zu, zeigt auch die Richtung der Pigmentzellen die zunehmende Einrichtung der Fasern in die Meridianstellung.

b) Das Gebiet des Äquators mit der Anheftungsstelle der Sehnen des Musculus retractor und der Mm. obliqui.

Die Gegend des Äquators der Sklera, die etwa dem Bezirk vor dem Ansatz des M. retractor entspricht, ist, wie auch Ischreyt angibt, in den inneren Lagen der Skleradicke durch einen fast reinen meridionalen Faserverlauf ausgezeichnet. Wie an der hinteren Kalotte können wir auch am Äquator ein rasches Abnehmen der Faserbündeldicke von den mittleren Skleraschichten zur inneren Oberfläche hin verfolgen. Durch die verschiedene Größe und Anordnung der kollagenen

Bündel wird eine Abdichtung der Bulbuswand erzielt: denn die starken Fasern der mittleren Lagen haben eine relativ grobe Struktur, die nach innen zu einer feineren und dichter gefügten Auskleidung schon für die Anlagerung der inneren Augenhäute bedarf. Das gilt in gleicher Weise für die ganze Innenfläche der Sklera. Die Faserbündel der inneren Lagen der Äquatorgegend laufen in einer Schicht nicht ganz parallel nebeneinander, sondern sie überkreuzen sich unter spitzen Winkeln. Diese betragen bei den innersten zarten Fasern etwa 5–25 Grad, weiter außen bis zu 30 und 40 Grad. Gruppen von Faserbündeln haben auf Flächenrissen oft spitze Keil- oder Spießform, wobei die Spitze des Keiles torquiert ist. Diese Drehung kommt dadurch zustande, daß oberflächliche Bündel des Spießes in die Tiefe gehen, und umgekehrt aus tieferen Lagen Fasern gegen die Oberfläche gelangen und sich demselben Keil anlegen bzw. einem neuen zuwenden. Es tritt auf die Weise auch am Äquator ein Austausch zwischen den einzelnen kollagenen Faserbündeln ein, jedoch unter Wahrung der meridionalen Hauptverlaufsrichtung. Die Tiefenverflechtung geschieht unter sehr spitzen Winkeln.

Der Übergang von meridional gerichteten Fasern des Äquators in die Faserrichtung der hinteren Kalotte vollzieht sich nicht direkt: es ist vielmehr ein Gebiet zwischengeschaltet, in dem die Fäden sich unter größeren als den geschilderten Winkeln überschneiden. Dieser Übergang des Äquatorabschnittes mit dem meridionalen Faserverlauf in den hinteren Abschnitt mit den gemischt und gekreuzt ziehenden Fasern ist durch die Bildung gotischer Bögen charakterisiert. Wir haben den Abstand dieser ersten (vordersten) Überschneidungen der innersten Skleralfasern (die Spitzen der gotischen Bögen) von der Ansatzstelle des Ciliarkörpers aus in allen Quadranten gemessen. Danach reicht in den innersten Teilen der Sklera die meridional gerichtete Faserung oben am weitesten, unten etwas weniger weit nach hinten. Noch geringer ist die Entfernung in den temporalen Partien des Augapfels. Den kleinsten Abstand vom Ansatzring des Ciliarkörpers zeigen die ersten Überkreuzungen der Bündel dagegen im nasalen Bereich des Bulbus.

Für die geschilderte Verlaufsform der skleralen Fasern in den Innenschichten des äquatorialen Bulbusabschnittes spricht auch das hier sehr klare Verhalten der Pigmentzellen. Sie ziehen genau in der Richtung der Fasern. Die Längsachsen der Zellen liegen fast parallel nebeneinander. Die Einstellung der Pigmentzellen in den Faserverlauf wird gut sichtbar an solchen Stellen, wo Blutgefäße schräg zur Faserrichtung ziehen. Hier sieht man die Pigmentzellen ungestört durch den Gefäßverlauf entsprechend der Verlaufsrichtung der darüber gelegenen Fasern mit der Längsachse meridional eingestellt. Die Übergänge von den meridionalen in die gekreuzten und weiter hinten in die stark verflochtenen Fasergebiete lassen sich auch aus der Pigmentzellenrichtung leicht erkennen. Die geschilderten gotischen Bögen der ersten Überschneidungen von Faserbündeln sind ebenfalls an der Einstellung der Pigmentzellen deutlich sichtbar. Die unaufgelockerte Innenfläche der Sklera zeigt weiter eine senkrecht zu der meridionalen Richtung orientierte, sehr deutliche Wellung, die den kollagenen Fasern zukommt. Wellenberge und -täler der benachbarten Faserbündel liegen dabei nebeneinander (vgl. auch Abb. 2 für die Duralfasern). Die allgemeinen

Bedingungen für die stärkere Wellung von Faserbündeln haben wir bei der Beschreibung des Fasertyps der hinteren Kalotte geschildert.

Bemerkenswert ist an der inneren Skleraloberfläche das Verhalten der kollagenen Skleralfasern um die Gefäßdurchtrittsstellen. Dies läßt sich am besten beim Eintritt der großen Venen in die Sklera verfolgen. Die Eintrittsstelle wird durch zwei große, sich schneidende Faserbögen spindelförmig umschlossen. Die Faserbündel bilden an den beiden Längsseiten der Spindel einen Wall, der durch die hier zusammenströmenden und sich überlagernden Fasern gebildet wird. Nach hinten und vor allem nach vorn zu nimmt er an Höhe ab, dadurch, daß die Bündel flächenhaft auseinanderstrahlen. Dabei schneiden sie sich mit denen der anderen Seite, und zwar unter um so spitzeren Winkeln, je weiter sie entfernt von der Eintrittsöffnung des Gefäßes liegen. Die Art der Umfassung der Gefäßeintrittsstelle gewährt einerseits einen genügend sicheren Verschluß der Skleralwand und sichert für das Blutgefäß einen vor Abknickung und Kompression geschützten Weg und Durchtritt durch die Wand des Bulbus.

Über den Äquator schreibt Ischreyt: „In der Zone, die vor dem Retractor und hinter den Recti liegt, zeigen meridionale Schnitte vorwiegend Längsbündel, die nach oben zu mit Querschnitten untermischt sind, die obersten Lagen enthalten die meisten Querschnitte." Die Angaben über die Längsbündel bei meridionalen Schnitten decken sich mit der von uns beschriebenen Faserung in den inneren Abschnitten der Skleradicke dieser Gegend. Nach außen zu konnten auch wir ein Auftreten und Zunehmen von zirkulären (äquatorialen) Bündeln feststellen. Allgemein läßt sich sagen, daß dort, wo in den inneren Schichten eine meridionale oder ihr verwandte Faserrichtung am Bulbus vorliegt, diese nach der äußeren Oberfläche zu mit zirkulären Bündeln untermischt bzw. abgeschlossen ist, wie wir das schon an den vorderen Partien der hinteren Kalotte (Gegend hinter den Ansätzen des M. retractor) fanden. Diese Anordnung hat offenbar den Zweck, das unter dem intraokularen Druck stehende, mehr oder weniger meridional angeordnete Fasersystem davor zu schützen, daß seine Elemente auseinandergedrängt werden.

Schon durch Aufhellen der äußeren Oberfläche der Äquatorgegend mit Canadabalsam zeigt einem die oft zirkuläre Verlaufsrichtung der Pigmentzellen auch diejenige der Skleralfasern an. Die oberflächlichsten Faserbündel ziehen meist in äquatorialer Richtung und kreuzen sich gegenseitig unter spitzen Winkeln. Diese zu äußerst gelegenen Bündel haben aber nicht die Feinheit wie die an der inneren Oberfläche derselben Gegend; auch sind ihre Überkreuzungswinkel größer. Die Fasern haben oft das Bestreben, sich in möglichst großer Fläche auszubreiten. Nach der Tiefe zu werden die Faserbündel gröber, es finden sich dort alle möglichen Verlaufsrichtungen und entsprechend winkligen Überschneidungen. Weiter innen, d. h. nach den tieferen Schichten zu, tritt jedoch eine Ordnung der Fasern ein insofern, als die zirkulären Bündel aufhören und meridionale unter größeren spitzwinkeligen Überkreuzungen an ihre Stelle treten. Dann beginnt etwa in der Mitte der Skleradicke in reiner Form der geschilderte Fasertyp der inneren Schichten mit den spitzer werdenden Überschneidungswinkeln der Fasern.

Die kollagene Faserung des Äquators geht also von außen nach innen aus einer äquatorial angeordneten in eine gemischte und dann in eine meridionale

über. Die letztgenannte Faserrichtung hat den größeren Anteil in der Dicke der Sklera und weist den meridionalen Faserverlauf sehr deutlich und einheitlich auf, während in den ersteren vielfach vom Gesamt- und Hauptverlauf abweichende Richtungen vorkommen. Ursache dafür sind die vielen Sehnenansätze, die sich in der Nähe des Äquators zusammendrängen. Der Musculus retractor setzt in fast geschlossenem Ring am Augapfel an. Die beiden schrägen Augenmuskeln inserieren im Bereich des oberen, äußeren Quadranten zwischen Retractor und den Mm. recti. Endlich reichen die Ansatzbögen der Mm. recti mit ihren hinteren Ausläufern bis an den Retractor heran, durchziehen also auch die ganze Breite der Äquatorgegend. Demzufolge sind auch die zirkulären Skleralfasern Änderungen im Verlaufe unterworfen, da sie sich zu den jeweils einstrahlenden Sehnenfasern in bestimmter, unten näher zu schildernder Weise einstellen müssen. An den von Sehnenansätzen freien Stellen lassen sich die äquatorialen Züge am besten studieren und sie zeigen dort rein zirkulären Verlauf.

Über den Retractoransatz und den Ansatz der Mm. recti schreibt Ischreyt: „An meridionalen Schnitten durch den Retractoransatz finden sich viel Längsschnitte, und Querschnitte in nennenswerter Anzahl nur in den oberen Schichten ... In der Gegend des Retractor treten oberflächliche Ringbündel (äquatoriale) auf, zwischen welchen sich die Verlängerungen der Sehnen in meridionaler Richtung einsenken ... Ähnliches ist bei den Insertionen der geraden Muskeln der Fall. Die Sehnen senken sich strahlenförmig in die Tiefe, verästeln sich und nehmen zwischen sich Ringbündel auf. Ein Gurt kräftiger Ringbündel liegt außerdem noch außen dieser Zone auf und stützt so auf vollkommene Weise die Verankerung der Muskelsehnen." Über die Einsenkung der Sehnen der Obliqui macht der genannte Autor keine näheren Angaben und hält zur Feststellung dieser Verhältnisse Serienschnitte nötig.

Der freie Teil der Retractorsehne ist sehr kurz. Ihre Ausbreitung in der Sklera geschieht unter einer Unterkreuzung der oberflächlichen, zirkulären Skleralfaserlage in den nächst tieferen Schichten. Hier geht die eigentliche Ausstrahlung und Verflechtung der Sehnenbündel des Retractor und auch der Obliqui in der gemischten und stark gekreuzten Faserschicht des Äquators (s. S. 199) vor sich. Eine erhebliche Bedeutung für das architektonische Gefüge der Sklera messen wir den Sehneneinstrahlungen dieser beiden Muskeln im Gegensatz zu den starken Sehnen der Recti nicht zu.

Hier sei eine Bildung erwähnt, die wir bei der Untersuchung der Obliquussehnen fanden. Infolge des Verlaufes dieses Muskels von medial nach latera, an der unteren Circumferenz des Bulbus entlang liegt der Obliquus mit seiner Sehne auf lange Strecke dem Augapfel an. Die Sehne bedarf deswegen einer Einrichtung, die sie in ihrer Lage am Bulbus festhält. Dies geschieht durch spezifische Ausbildung des über ihr gelegenen episkleralen Bindegewebes, das sich zu langen, parallel nebeneinander gelegenen Bündeln anordnet. Diese Bündel verlaufen in ihrer Gesamtheit fast senkrecht zu den Sehnenfasern des Obliquus inferior und werden so der genannten Aufgabe gerecht, indem sie die Sehne an den Augapfel fixieren. Die Haltefäden selbst werden wieder durch zartere Querbälkchen miteinander verbunden und zu einem Blatt vereinigt.

Über die Pigmentzellen im skleralen Bindegewebe läßt sich allgemein sagen, daß sie sich in ihrer Form und Anordnung weitgehend der Richtung der kollagenen Faserbündel und der dazwischen gelegenen Spalten anpassen. In der hinteren Kalotte des Bulbus fanden sich rundliche oder vielgestaltige Pigmentzellen, die reich verzweigt waren. Diese Zellform zeigte eine weitgehende Übereinstimmung mit dem dort befindlichen Verflechtungstypus, d. h. dem nach allen Richtungen ausstrahlenden Faserverlauf. In dem äquatorialen Teil der Sklerainnenfläche liegen Pigmentzellen, die sehr deutlich die meridionale Hauptrichtung erkennen lassen. Analog den hier befindlichen spitzwinkligen Verflechtungen und dem Faseraustausch der Bindegewebsbündel zeigen die Pigmentzellen eine Einordnung ihrer Zellfortsätze. In den Obliquussehnen endlich fanden wir Zellen, die nicht nur wie die Bündel der Sehne gewellt waren, sondern auch wie diese kaum eine Verzweigung aufwiesen. Sie haben die Form gewellter Stäbchen.

Das episklerale Gewebe besteht zumeist aus sehr langen, zarten und stark gewellten Bündeln. Oft läßt es eine Struktur erkennen in Form feinster, zusammenhängender Blätter, die dadurch entstehen, daß gröbere Hauptbündel einer Verlaufsrichtung durch feinere Querbälkchen zusammengehalten werden (wie bei dem beschriebenen Halteblatt der Obliquussehne) oder daß gleichstarke Fäserchen sich ähnlich wie die Stäbe eines Zaunes zu einem Maschenwerk miteinander verflechten. Solche Lamellen, wie sie z. B. zwischen Bulbuswand und Rectussehnen dargestellt werden können, zeigten einen homogenen, glasig aussehenden Belag, wie wir ihn — z. B. auch an den Wänden des Intervaginalraumes — dort fanden, wo ein präformierter Raum mit einem Epithel ausgekleidet ist. Wir halten die letztgenannte Bildung für die Begrenzung und epitheliale Auskleidung des Tenonschen Raumes.

c) Vorderer Teil der Sklera mit der Einstrahlung der geraden Augenmuskelsehnen und dem Limbus sclerae.

Der vordere Skleralabschnitt und der Limbus haben den Untersuchern skleraler Strukturen große Schwierigkeiten bereitet. Der Grund hierfür liegt zunächst, wie wir anfangs schilderten, an der angewendeten Technik, d. h. der alleinigen Benutzung mikroskopischer Schnittbilder, dann allerdings auch in der komplizierten Bauart dieser Gegend.

Über den Limbus der Rindersklera kommt Ischreyt auf Grund seiner Untersuchungen zu folgendem Schluß: „Am Limbus verwirrt sich das bisher verhältnismäßig einfache Gewebe zu einem dichten Filz.“ Im Speziellen schreibt der Autor über diese Gegend: „An meridionalen Schnitten, die den Limbus erreichen, zeigen sich von hinten kommende kräftige Längsbündel, zwischen welche sich Querbündel einschieben. Je mehr sich die Bündel dem Limbus nähern, desto unregelmäßiger werden sie: sie sind auffallend gewellt, teilen sich, gehen Anastomosen ein; sie verflechten sich zu einem Filz, in welchem die Faserbündel in der verschiedensten Richtung verlaufen, wenn auch im allgemeinen die meridionale Richtung bevorzugt bleibt.“

Nach unseren Untersuchungen sind folgende Faserkomponenten am Limbus vereinigt: 1. Die Fortsetzungen der meridionalen Fasern der inneren Skleraschichten des Äquatorbereiches und 2. die Fortsetzungen der äußeren, stark

gekreuzten und gemischten Bündel dieser Gegend. 3. Von außen und hinten herantretend, die Sehnenbündel der vier geraden Augenmuskeln. 4. Von innen herkommend, chorioidale Fasern, die das Corpus ciliare an die Sklera heften. 5. Faserbündel, die als Fortsetzungen der Corneallamellen in den Limbus einstrahlen. 6. Eigenfasern des Limbus.

Die Faserbündel der inneren skleralen Schichten des Äquatorbereiches, deren ausgesprochen meridionalen Verlauf wir schilderten, schlagen in der Richtung zum Limbus bogenförmigen Verlauf ein. Es treten stärkere Überkreuzungen auf, ähnlich wie sie am Übergang der Äquatorgegend auf die hintere Kalotte des Bulbus stattfinden. Die Faserbündel ziehen teils nach der einen, teils nach der anderen Seite und strahlen in einen äquatorialen Faserring ein, der der Stelle des Limbus entspricht und innen durch den Ansatz des Corpus ciliare an die Sklera deutlich markiert wird (Abb. 23). Der vorher meridionale Verlauf der Fasern geht dabei in einen zirkulären über. Ausgesprochene Schrägeinstrahlungen von skleralen Faserbündeln in den Limbusring findet man oft an den Übergangsstellen der Breit- in die Schmalseiten der Cornealumrandung. Die Fasern laufen dann vom Äquator im Bogen gegen den spitzen bzw. stumpfen Pol der in der Umrandung eiförmigen Cornea.

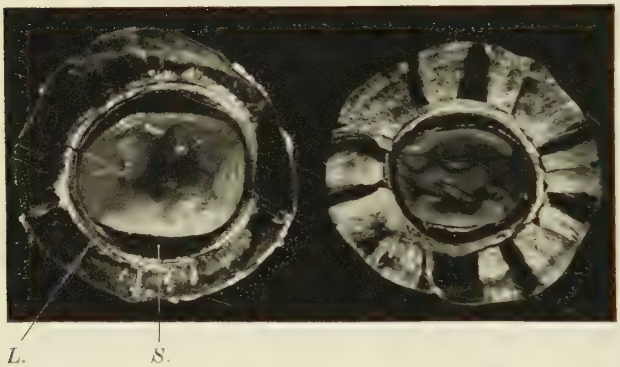

Abb. 23. Vordere Bulbusabschnitte eines rechten und linken Auges (von innen gesehen). Darstellung der Ansatzringe (*L.*) der Ciliarkörper an die Sklera (der Stelle des inneren Limbusringes entsprechend). Links: Eiförmige Cornea mit sichelförmigen, undurchsichtigen Cornealabschnitten (*S.*). Rechts: Übergang der inneren Skleralfasern in den Limbusring. (Die dunklen Stellen entsprechen der unaufgefaserten Innenfläche der Sklera.) Etwa natürliche Größe.

Der Fasertyp der äußeren Sklerallagen der Äquatorgegend mit den stark gekreuzten, gemischten und äquatorialen Faserzügen erstreckt sich bis zum Limbus und in diesen hinein. Die zu äußerst gelegenen Faserbündel des eigentlichen Limbusringes sind auch rein äquatorial gerichtet. So können wir einen inneren und einen äußeren Faserring am Limbus unterscheiden. Der innere entsteht, wie erwähnt, durch Umbiegen der inneren Skleralfasern; der äußere setzt sich aus selbständigen Ringbündeln und, in tieferen Lagen, aus Umbiegungen von Sehnenfaserbündeln der Mm. recti, deren spezielles Verhalten wir weiter unten noch schildern werden, zusammen. Zwischen diesen beiden Faserringen des Limbus gehen Faserbündel der mittleren Sklerallagen radiär und schräg unter Kreuzungen hindurch und in die Cornea über. Aus den genannten Faserringen selbst strahlen Skleralfasern bogenförmig in die Cornea ein.

Der äußere und der innere Äquatorialfaserzug des Limbus überdecken sich nicht in allen Teilen der Cornealcircumferenz. Fast genau übereinandergelegen sind sie am spitzen (lateralen) und stumpfen (medialen) Pol der eiförmigen Cornea, während an den Breitseiten ihrer Umrandung der innere Limbusring weiter

zurückliegt. Dieses unterschiedliche Verhalten läßt sich schon makroskopisch am nichtaufgefaserten Präparat erkennen (Abb. 23). Im Gegensatz zu den Schmalseiten reicht an den Breitseiten der Cornealumrandung das durchsichtige Cornealgewebe innen erheblich weiter nach rückwärts gegenüber außen (und damit auch der an der Grenze zwischen Corneal- und Skleralgewebe gelegene innere Faserring gegenüber dem äußeren). Der innere sklerale Faserring des Limbus entspricht dabei dem Ansatz des Ciliarkörpers an die Sklera, der äußere schließt sich unmittelbar dem durchsichtigen Teile der Cornea an. Dieser Unterschied in der Lage der Faserringe, aus denen die an der äußeren und inneren Oberfläche gelegenen Lamellen der Cornea sich ableiten, erklärt sich aus der funktionellen Bedeutung dieser Gegend im Hinblick auf die Gestaltung der Krümmungsradien und damit der Brechungsverhältnisse der Cornea. Die Cornea ist in vertikaler Richtung stärker gekrümmt als in horizontaler. Die Krümmungsradien sind kleiner als die der Sklera, weshalb sich die Cornea vom übrigen Bulbus kuppelartig abhebt. Diese stärkere Wölbung der Cornea wird nach unserer Auffassung neben anderen Faktoren unter Voraussetzung des intraokularen Druckes erhalten durch diese Faserringe des Limbus, die hier die bekannte Einschnürung des Bulbus bewirken (Sulcus sclerae). Die Verschiebung des äußeren und inneren Faserringes gegeneinander halten wir ätiologisch wichtig für die Eiform und die stärkere Wölbung der Cornea in vertikaler Richtung.

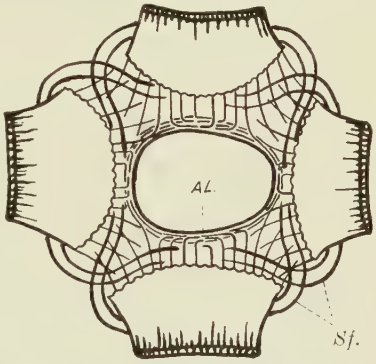

Abb. 24. Einstrahlung der 4 Rectussehnen in die Sklera. Schematische Zeichnung. *AL.* äußerer Limbusring; *Sf.* oberflächliche Skleralfasern.

Für den konstruktiven Bau der Sklera spielen die Einstrahlungen der Rectussehnen eine erhebliche Rolle. Ihre große Bedeutung für die Struktur der Sklera ergibt sich schon allein daraus, daß die Sehnen bei ihrer kräftigen Ausbildung rings um den ganzen Bulbus zur Sklera in Beziehung treten. Einige anatomische Verhältnisse der Einstrahlung der Rectussehnen in die harte Augenhaut sind schon von Ischreyt geschildert und diese von uns erwähnt worden (s. S. 200). Die Rectussehnen treten in Beziehung zu den von uns geschilderten Faserungen der äußeren Sklerallagen im Äquator- und Limbusbereich. Entsprechend der fast reinen äquatorialen Verlaufsrichtung der äußersten skleralen Faserbündel sind es diese äquatorialen Faserzüge, die zuerst die Sehnenbündel bei ihrem Eintritt in die Sklera überlagern. Da die randständigen Bündel einer Rectussehne (infolge des nach vorn konvexen Bogens ihrer Insertionsstelle) schräg bis äquatorial verlaufen (Abb. 24), müssen die äußersten, im allgemeinen zirkulär gerichteten Skleralfasern, um die Sehnenbündel in entgegengesetzter Richtung zu überqueren, schräg bis meridional verlaufen. Diese äußersten Skleralfasern kommen aus der Gegend des Bulbus hinter den Rectusansätzen, meist aus einer äquatorialen Anfangsrichtung und gehen nach kurzem Schräg- bis Meridionalverlauf zwischen zwei Sehnenansatzstellen dann vor den Recti wieder in die äquatoriale Richtung über. Bei diesem Verlauf kreuzen sie sich meist mit ähnlichen skleralen Fasern,

die zur Nachbarsehne ziehen und deren Bündel oberflächlich bedecken (Abb. 24). Die Sehnenfasern gelangen bei ihrem tieferen Einstrahlen in die Sklera in den gemischten und weiter in den stark gekreuzten Abschnitt der Skleralfaserung, um in diesem bis zum Limbus vorzudringen. Auf dem Wege hierher vollziehen sich Aufspaltungen der Sehnenbündel und Verflechtungen und Schrägkreuzungen mit den Skleralfasern.

Mit diesem Verlauf und der Verflechtung hinter dem Limbus ist jedoch die Verankerung der Rectussehnen am Bulbus — wie Ischreyt annahm — nicht beendet. Die von ihm beschriebene Verästelung der Sehnenfasern, die auch wir deutlich ausgeprägt fanden, ist aber nicht in dem Sinne aufzufassen, daß etwa beim Eintritt in die Sklera ein fächerförmiges Auseinanderstrahlen von Spaltbündeln der Rectussehnen zum Zwecke einer definitiven Befestigung stattfindet. Vielmehr wird die eigentliche Verankerung der Rectussehnen am Bulbus erst vollkommen durch das rechtwinklige Umbiegen der Sehnenfaserbündel in den Limbusring. Eine Verflechtung der Sehnenfasern der Recti mit den hinter dem Limbus gelegenen Skleralfasern findet in vielen Fällen auch kaum statt, da die Einstrahlung in die Sklera oft erst sehr nahe am Limbus geschieht; an diesen Stellen ist dann die rechtwinklige Abknickung der Sehnenfasern besonders deutlich und auch gut isoliert darstellbar.

Die Bündel einer Rectussehne, deren Insertionsstelle an der Sklera, wie erwähnt, einem nach vorn konvexen Bogen entspricht, gelangen demnach auf folgende Weise in den Limbusring. Die Randfasern einer Sehne ziehen, ohne umzubiegen, geradlinig zum Teil in den Limbusring und kreuzen dabei die benachbarten Randfasern der nächsten Sehne. Die einwärts von den Randfasern gelegenen Bündel der Sehne biegen, am Limbus angelangt, jeweils auf den Scheitel des Insertionsbogens zu um (Abb. 24). Die Gesamtheit der so am Limbus vereinigten Sehnenbündel beteiligt sich, wie beschrieben, an der Bildung des äußeren Limbusringes. Entsprechend der Sehnennatur dieser kollagenen Ringbündel ist ihnen bei geringer Verflechtung mit anderen Fasern und untereinander eine stärkere Wellung eigentümlich.

Kollagene Faserbündel, die das Corpus ciliare an die Sklera heften, bilden ein zartes, ganz oberflächlich am inneren Limbusring gelegenes Maschenwerk, dessen Hauptfasern zirkulär gerichtet sind. Die Fasern treten aus dem Ring bogenförmig heraus, wobei sie sich mit den aus entgegengesetzter Richtung kommenden unter Bildung gotischer Bögen kreuzen, und ziehen nach hinten in die Chorioidea weiter, in der sie nach kurzem Verlauf, zu kleinen Bündelgruppen geordnet, ausstrahlen. Die hintere Begrenzung dieser Faserung in der Chorioidea bildet eine Wellenlinie (Abb. 25). In Richtung dieser meridional verlaufenden Faserbündel und von zirkulären Bindegewebsformationen eingebettet, ziehen auf eine kurze Strecke hinter dem Limbusring Blutgefäße (Art. ciliares post. longae), die nach hinten an der Innenfläche der Sklera in meridionaler Richtung weiterverlaufen und vorn in den Ciliarkörper eintreten.

Die Corneallamellen stellen, wie man es an den nach unserer Methode hergerichteten Präparaten deutlich verfolgen kann, kontinuierliche Fortsetzungen der Skleralfasern dar, und zwar von der Stelle ab, wo letztere den Limbusring passiert haben. Es vereinigen sich jeweils mehrere feinere Limbusfaserbündel

u einer Corneallamelle bzw. letztere spaltet sich am Übergang von Cornea zur klera in schmalere Bündel auf. Die einzelne Cornealfaser nimmt einen neuen harakter an, und die Art der gegenseitigen Verflechtung ändert sich. Die Faseründel werden sehr breit und so dünn, daß man durch sie hindurchsehen kann. Diese Bündel bestehen aus mehreren feinen, übereinanderliegenden Lamellen, ie in gleicher Richtung ziehen. Die erflechtung der breiten Cornealfaseründel geschieht im Gegensatz zur klera weniger durch einen innigen aseraustausch mit benachbarten Bünln als durch eine flächenhafte Übernanderordnung in verschiedenen Richngen. Die einzelnen breiten Cornealmellen zeigen eine deutliche kleine Wellung.

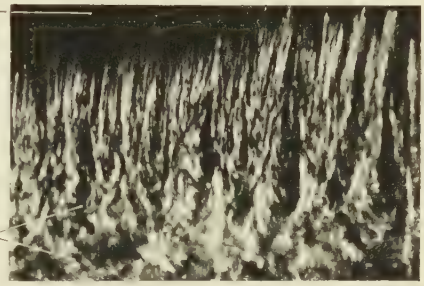

Abb. 25. Ansatzstelle des Ciliarkörpers an die Sklera. Bögen kollagener Fasern, die nach hinten zu in die pigmentreiche und im Bilde schwarze Chorioidea (*Ch.*) ausstrahlen. Vorn biegen sie um und werden zu innersten Fasern des Limbusringes (*L.*). Vergr. 16mal.

Die Entstehung cornealer aus sklelen Fasern geschieht, wie schon oben rwähnt, in den oberflächlichen Hornautlagen durch bogenförmiges Ausrahlen der Bündel aus den vordersten Partien des inneren und äußeren Limbusnges, und zwar sowohl nach der einen wie nach der anderen Seite. Hierdurch ommt es zu Überschneidungen der Faserlamellen, wie man sie allenthalben in er Circumferenz der Hornhaut innen ie außen darstellen kann. In den ittleren Lagen der Cornea treten agegen, entsprechend dem radiären nd schrägen gekreuzten Durchtritt er Skleralfasern durch die mittlen Partien der Limbusdicke, Skleralsern radiär und schräg unter Kreuungen in die Hornhaut über. An en Stellen der Innenfläche der ornea, wo die Hornhaut weiter ach rückwärts reicht, d. h. also n den Breitseiten, finden sich viele rkulär gerichtete, feine Lamellen. re Entstehung aus dem inneren rkulären Ringfasergeflecht des imbus ist besonders deutlich. Die starke maschenartige Verflechtung, wie e den groben skleralen Fasern des inneren Limbusringes eigentümlich ist, tritt n der Grenze zwischen Cornea und Sklera zurück gegenüber den langen, zarten nd weniger verzweigten Bindegewebsbündeln von mehr cornealem Charakter Abb. 26).

Abb. 26. Sklerales Fasergeflecht des inneren Limbusringes (*L.*) und die erste Differenzierung von Cornealfasern (*Cf.*). (Aus dem sichelförmigen, undurchsichtigen Cornealabschnitt, vgl. Abb. 23.) Vergrößerung 50mal.

Während sich der weitaus größte Teil der Faserung des Limbus auf von inten kommende sklerale Fasern, Ausstrahlungen der Muskelsehnen und Cornealmellen sowie innen auf chorioidale Fasern zurückführen läßt, sind Eigenfasern

als rein zirkuläre Faserzüge in dünner Schicht nur an der äußeren Oberfläc vorhanden. Durch das Ausstrahlen und Zusammenkommen der Faserbünd aus den verschiedenen Gebieten und Richtungen im Bereich des Limbus wi die Verdickung der Limbusgegend gegenüber den angrenzenden Partien d Sklera und Cornea verständlich.

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse der Abschnitte B. und C. und e Versuch, die vorgefundene Struktur als Folge der funktionellen Beanspruchung erklären.

Im folgenden versuchen wir, auf Grund unserer Untersuchungsergebniss die hier kurz zusammengestellt sein sollen, die Beziehungen zwischen der A ordnung und Funktion der kollagenen Fasern in der Sklera darzulegen.

Der Ansatz der Sehnervenhüllen am Bulbus geschieht in der Weise, da die äußeren duralen Längsfasern in der Hauptsache am ventralen Pol des Se nerveneintritts in den Bulbus einstrahlen (die nahe dem Bulbus gelegenen dc salen Längsfasern ziehen unter scherenförmiger Spreizung zum Augapfel) und si unter Kreuzung in den äußeren zwei Dritteln der Skleradicke verästeln. Die a meisten ventral gelegene Stelle des Opticuseintritts steht daher in besonder Beziehung zu den auf Zugwirkung eingerichteten, stark gewellten duralen Läng fasern. Die zirkulären Duralfasern reichen ganz bis an den Bulbus heran un umgreifen den distalen Opticusabschnitt gurtförmig; auf die Weise halten s den Nerven in seiner Schräglage zum Bulbus fest (Abb. 4, 13). Die äußere Rin faserlage der Pia ist dicht hinter dem Bulbus stärker ausgebildet und vermitte einen sicheren Übertritt der Nervenfaserbündel vom Bulbus in den Nerv. D pialen Längsfasern, soweit sie den Bulbus erreichen, biegen rechtwinklig in d Lamina cribrosa um. Der ventrale Teil des distalen Intervaginalraumabschnitt enthält ein polsterartiges, reichverzweigtes und feines Balkenwerk. Auf diese ruht der tiefste Punkt des Sehnerven; diese Stelle des Opticus wird bei Auge bewegungen, infolge der konvexen Biegung des Sehnerven nach unten-außen am meisten auf Druck und Biegung beansprucht.

Die Umgebung des Opticuseintritts wird von zwei spindelförmigen Sklera faserzwingen umschlossen, deren Hauptachsen senkrecht zueinander steh (Abb. 6). Es resultiert so eine fast ringförmige Begrenzung und damit siche Umschließung des Opticuskanales mit skleralen Faserbündeln. Innerhalb d skleralen Faserzwingen, d. h. im Sklerotikalkanal, ist die Lamina cribrosa au gespannt. Sie besteht in der Hauptsache aus einem radialen Balkenwerk vo Skleralfasern, das von hinten nach vorn an Dichte zunimmt und den Bulbu im Bereich der Durchtrittsöffnung für den Sehnerven verstrebt. Die Sieblöch dienen der ersten Bündelung und Gruppierung der Nervenfasern, die auch v hier ihre erste bindegewebige Umscheidung erhalten. Für den Verlauf der Zentra gefäße ergibt sich durch besondere Anordnung der Scheidenhüllenfasern in For von kleinen Torbögen, weiter durch das ventrale Bindegewebsseptum des Optic ein vor Kompression sicherer Weg durch Sehnerv und Bulbuswand.

Die Innenfläche der Sklera ist in allen Abschnitten von sehr zarten Fase bündeln ausgekleidet. Dadurch wird eine Abdichtung der Bulbuswand erzie und zugleich eine glatte Fläche zur Anlagerung von Chorioidea und Retina g

bildet. Die stärksten Bündel liegen im mittleren Bereich der Skleradicke, nach außen findet wieder eine Abnahme der Faserdicke statt. Im hinteren Bulbusabschnitt schließen sich in den äußeren Lagen an die ringförmig den Sklerotikalkanal umgebenden Faserzüge spitz- bis rechtwinklig gekreuzte Faserbündel an, die zum Äquator hin eine der meridionalen genäherte Richtung erkennen lassen. In den inneren Lagen der hinteren Kalotte finden sich Faserbündel, die in der verschiedensten Richtung verlaufen und dabei fächerartige Form besitzen. Innere und äußere Faserlage gehen gegen den Äquator zu in eine mehr meridionale Richtung über, die sie im Bereich des Äquators in fast reiner Form annehmen. Nach vorn, gegen den Limbus zu, gehen die Bündel wieder in stärker gekreuzte Faserzüge über, um am Limbus innen in einen zirkulären Faserring (= inneren Limbusring) einzustrahlen, in den mittleren Lagen der Skleradicke dagegen durch den Limbus hindurch und in die Cornea überzugehen. Allgemein läßt sich sagen, daß dort, wo in den inneren oder mittleren Schichten der Sklera eine meridionale oder ihr verwandte Faserrichtung vorliegt, diese nach der äußeren Oberfläche zu mit zirkulären Bündeln untermischt bzw. abgeschlossen ist. Diese Anordnung hat offenbar den Zweck, das unter dem intraokularen Druck stehende, mehr oder weniger meridional angeordnete Fasersystem davor zu schützen, daß seine Elemente auseinandergedrängt werden. Diese oberflächlichen zirkulären Bündel finden sich am deutlichsten am Äquator ausgeprägt. Der Übergang von den meridional gerichteten Fasern der inneren Schichten der Skleradicke in diese oberflächlichen zirkulären Bündel geschieht unter Zwischenschaltung von stark gekreuzt und gemischt verlaufenden Faserbündeln. Im vorderen Teil der hinteren Kalotte, wo die Faserung sich der meridionalen Verlaufsrichtung nähert, finden sich die ersten zirkulären Bündel an der Oberfläche eingestreut. Eine weitere Bedeutung der Ringbündel besteht in der rechtwinkligen Überlagerung und Befestigung der einstrahlenden Sehnenbündel der Augenmuskeln. Die Muskelsehnen strahlen jedoch nicht immer meridional in die Sklera, sondern häufig in mehr oder weniger schräger Richtung. Da aber ihre Festheftung durch die oberflächlichen Skleralfasern unter etwa rechtem Winkel erfolgt, so findet man im vorderen Skleralabschnitt oft eine von dem zirkulären Verlauf abweichende Richtung der oberflächlichen Skleralfasern. Die äußeren Ringbündel der Limbusgegend formieren sich zu einem geschlossenen äußeren Limbusring, in den die Sehnenbündel der Mm. recti umbiegen. Vom äußeren und inneren Limbusring gehen Faserbündel bogenförmig nach beiden Seiten unter gegenseitiger Kreuzung in die Cornea über. Die kurzen und dünnen Sehnen des M. retractor bulbi strahlen dicht hinter dem Äquator in die äußeren Skleraschichten ein, die Sehnen der Mm. obliqui, die kräftiger und länger als die Retractorsehnen sind, finden in dem oberen äußeren Quadranten ihre Anheftung in der Sklera. Für die Architektur des Bulbus spielen die einstrahlenden Rectussehnen die größere Rolle, da sie rings um den Augapfel mit starken Bündeln inserieren und vorn an der Bildung des äußeren Limbusringes teilnehmen.

Wir kommen nun nach der vorausgegangenen kurzen Zusammenfassung der Einzelergebnisse zu einer Analyse der Gesamtform des Bulbus und versuchen, seine Form und seine funktionelle Bedeutung und Beanspruchung aus der Konstruktion des kollagenen Baumaterials zu verstehen und zu erklären.

Die verschiedene Dicke der äußeren Augenhaut in den einzelnen Bulbusabschnitten ist eine auffällige Tatsache, die zur Erklärung der Bulbusform mit verwendet werden kann. Das ständig unter dem intraokularen Druck stehende kollagene Fasersystem wird an Stellen mit geringer sich ausbildender Wanddicke stärker vorgewölbt werden, ähnlich wie es unter pathologischen Umständen an verdünnten Hornhautpartien zu einer umschriebenen Vortreibung, dem Staphyloma corneae, kommen kann. Die Krümmungsradien der Wand der äußeren Augenhaut werden dabei verkürzt. Dies Verhalten trifft am Rinderauge für den Äquatorbezirk und vor allem für die Cornea zu; diese beiden Abschnitte des Bulbus haben die kleinsten Krümmungsradien. Umgekehrt weisen Stellen, an denen die Bulbuswand besonders verstärkt ist, wie an der hinteren Kalotte, eine Abplattung und große Krümmungsradien auf. Der Limbus tritt mit seiner größeren Wanddicke so unvermittelt zwischen den beiden dünnwandigen Bezirken der Cornea und des Äquatorbereiches der Sklera auf, daß es hier zu einer Einschnürung des Bulbus in Gestalt des Sulcus sclerae kommt und damit zur kuppelförmigen Abhebung der Cornea vom Bulbus. Auf die Weise bewirken allein die Verdünnung bzw. die Verdickung bestimmter Abschnitte der Wand der äußeren Augenhaut im Verein mit dem intraokularen Druck eine spezifische Form des Augapfels.

Daneben spielen jedoch Gestalt und Verflechtungstypus der kollagenen Faserbündel der Skleralwandung eine Rolle für die Form und Beschaffenheit des Bulbus. Die Fasern gestalten und richten sich unter dem Einfluß mechanischer Faktoren und funktioneller Beanspruchung, die an den einzelnen Stellen der äußeren Augenhaut verschieden sind. Die Hauptfaserrichtung in der Sklera ist die meridionale. An der Stelle des Bulbus mit der größten Circumferenz, dem Äquator, ist diese Faserrichtung am reinsten ausgeprägt. Hier verflechten sich die Bündel weniger stark und sind deutlich gewellt, beides der Ausdruck einer vorwiegenden Zugbeanspruchung; gegen den von innen her wirkenden Druck sind diese Bündel außen durch zirkuläre vor einem Auseinanderweichen gesichert. Die starke Wellung der fast parallel nebeneinander gelegenen, meridional verlaufenden, kollagenen Faserbündel ist Ausdruck für die dem Äquatorbezirk der Bulbuswand zukommende Dehnbarkeit. Nach vorn und hinten zu konvergieren die meridionalen Fasern der Äquatorgegend, da ihnen immer weniger Bulbusfläche zur Verfügung steht. Sie streben rückwärts der Gegend des hinteren Augenpols bzw. des Foramen opticum, nach vorn über den Limbus der des vorderen Augenpols zu. Es kommt dadurch nach vorn und hinten neben einer Wandverdickung zu spitz- bis rechtwinkligen Überschneidungen der kollagenen Faserbündel. In der hinteren Kalotte verlieren sich die oberflächlichen zirkulären Bündel, es verliert sich die ausgesprochene Wellung der Fasern, und es tritt eine mehr verflochtene Faserung auf, der infolge der Kreuzungen der Bündel durch Scherenwirkung eine größere Dehnungsmöglichkeit zukommt. An der Innenfläche dieser Gegend finden sich die fächerförmigen Fasertypen, die auf Zug- oder Druckbeanspruchung nach jeder Richtung eingestellt sind und zu der besonderen Verdickung und demzufolge der Abplattung der hinteren Kalotte des Bulbus beitragen.

Die Ergebnisse der Dehnungsversuche Ischreyts — nach denen meridionale Excisionsstreifen aus der hinteren Kalotte des Bulbus bei geringer Zugbelastung

stärker dehnbar sind als solche aus dem vorderen Bulbusabschnitt, bei höherer Belastung sich dagegen umgekehrt verhalten — lassen sich aus den von uns gefundenen Faserverhältnissen erklären: Die gekreuzten Fasern und die Fächertypen der hinteren Kalotte gestatten im Gegensatz zu den fast meridional gerichteten Fasern der vorderen Skleralhälfte durch scherenartige Spreizung und Schließung der sich überschneidenden Faserbündel bei geringer Zugwirkung eine größere Dehnung des Skleralgewebes. Bei größerer Belastung tritt jedoch das umgekehrte Verhalten ein, dann nämlich, wenn die Faktoren der Spreizbarkeit verbraucht und die sog. Vorratsfalten in Form der Wellung in Funktion treten und durch den Zug ausgeglichen werden. Die Wellung ist ja, wie geschildert, am Äquator besonders stark, in der hinteren Kalotte dagegen in viel geringerem Maße ausgebildet. Auf Grund der Faserstruktur des hinteren Bulbusabschnittes ist dieser Teil als der den physiologischen Druckschwankungen am leichtesten nachgiebige Abschnitt anzusprechen. Einer solchen bei Drucksteigerung beginnenden Dehnung der hinteren Kalotte im Sinne der Achsenverlängerung wirken aber im Bereich der normalen Druckschwankungen Abplattung und größere Wandungsdicke der Kalotte im Verein mit der durch den Muskeltonus bedingten Anpressung des Bulbus an das gelenkpfannenartige retrobulbäre Polster (Capsula Tenoni und Fettpolster) entgegen. Daß sich, wie die Versuche des genannten Autors ergeben haben, äquatorial aus der vorderen Skleralhälfte geschnittene Streifen leichter dehnen als meridionale, erklärt sich ohne Schwierigkeiten aus der Hauptverlaufsrichtung der Faserbündel in meridionaler Richtung.

Die vom Äquator nach vornhin zunehmende Verdickung der Bulbuswand durch Zusammenströmen der sich scherenartig kreuzenden Fasern findet ihren Höhepunkt im Limbus, in den die vom Äquator kommenden inneren Skleralfasern sowie die Sehnenbündel der Mm. recti umbiegen, und dem sich außen zirkuläre Bündel in Form des äußeren Limbusringes zugesellen. In der Gestalt des Augapfels wirken sich diese Versteifung und Befestigung der Wand der harten Augenhaut in einer Rinnenbildung, dem Sulcus sclerae, an der Grenze zwischen Sklera und Cornea, aus. Die zirkulären Bündel verursachen gemeinsam mit der Wandverdickung die Einschnürung des Sulcus sclerae. Dehnungs- und Zerreißungsversuche Ischreyts an Streifen des Limbusringes ergaben eine geringe Dehnbarkeit und die stärkste Bruchbelastung. Diese Eigenschaften finden ihre Erklärung durch das Ineinandergreifen und die Verflechtung der verschiedenartigsten Faserrichtungen und Fasertypen, wie wir es für die Zusammensetzung des Limbus geschildert haben.

Art und Anordnung des kollagen-elastischen Systems der Sklera halten unter Mitwirkung des intraokularen Druckes und der normalen Funktion des Auges eine bestimmte Form des Augapfels aufrecht. Die bestimmte Größe der Krümmungsradien der einzelnen Bulbusabschnitte mit ihren verschiedenen Bindegewebsformationen und Wandstärken bilden die normalen Refraktionsbedingungen für das Auge. Eine angeborene Schwäche des Bindegewebsapparates oder Störungen in der Entwicklung und Funktion werden zu anormalen Formen des Bulbus und der Refraktion führen können (Myopie, Hypermetropie). Der ausgebildete Bulbus stellt dabei kein starres Gebilde dar, sondern er vermag sich auf Grund seines konstruktiven Baues physiologischen Schwankungen des intraokularen

Druckes und den Zugbeanspruchungen der Augenmuskeln federnd anzupassen. Ob diese letztere Eigenschaft so weit geht, daß durch den Zug der Augenmuskeln, vor allem der Mm. recti mit dem Angriffspunkt ihrer Sehnenbündel am Limbus — d. h. dem Teil der harten Augenhaut, durch den die normale Krümmung der Hornhaut gewahrt wird — eine Deformation des Augapfels eintritt oder durch Druck der sich kontrahierenden Augenmuskeln auf den ihnen anliegenden Äquatorbereich eine Ausweitung der leichter dehnbaren hinteren Kalotte des Bulbus erfolgt, und damit eine Änderung der Refraktion herbeigeführt wird, bedarf noch der genauen experimentellen Untersuchung am lebenden Auge. Wir begnügen uns hier, darauf hinzuweisen, daß neuerdings derartige Meinungen wieder vertreten und lebhaft diskutiert worden sind. Jedenfalls ist an der klassischen Lehre von der ciliaren Akkommodation nicht zu rütteln.

Literaturverzeichnis.

ATTIAS, G., Über Altersveränderungen des menschlichen Auges. Graefes Arch. **81** (1912). — BATES, W. H., Rechtes Sehen ohne Brille. Autor. Übersetzung a. d. Englischen von Elisabeth Friedrich. 1931. Grimma: Verlag Paul Schrecker. — BECHER, H., Der konstruktive Bau der Sklera. 3 Tafeln. Verh. anat. Ges. **75**, Erg.-H., 104—118 (1932). — BENNINGHOFF, A., Über die Entstehung funktioneller Strukturen. Verh. anat. Ges., III. Internat. Anatomenkongreß in Amsterdam **1930**, 62—70; 3 Abb. — Funktionelle Anpassung im Bereich des Bindegewebes. Verh. anat. Ges., 40. Tagung in Breslau **1931**, 95—123; 9 Abb. — BLUNTSCHLI, H., Zur Frage nach der funktionellen Struktur und Bedeutung der harten Hirnhaut. Roux' Arch. **106**, 303—319 (1925). — EISLER, P., Die Anatomie des menschlichen Auges. Kurzes Handbuch der Ophthalmologie. Herausgeg. von Schieck-Brückner **I** (1930). — ELLENBERGER, W., u. BAUM, Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. 14. Aufl. 1915. — FOCK, G., Die Behandlung von Sehstörungen nach Bates. Eine Umfrage. Med. Welt **6**, Nr 4, 134—137; Nr 6, 202—205 (1932) u. a. — ISCHREYT, G., Zur Mechanik der Sklera. Graefes Arch. **46**, 677—705 (1898); 1 Abb. — Anatomische und physikalische Untersuchungen der Rindersklera. Graefes Arch. **48**, 384—419 (1899); 1 Taf. 5 Abb. — Über den Faserbündelverlauf in der Lederhaut des Menschen. Graefes Arch. **48**, 506—512 (1899). — KREKELER, F., Die Struktur der Sklera in den verschiedenen Lebensaltern. Arch. Augenheilk. **93**, 144—159 (1923). — LANZ, T. v., Über die Rückenmarkshäute. I. Die konstruktive Form der harten Haut des menschlichen Rückenmarkes und ihrer Bänder. Roux' Arch. **118 III**, 252—307 (1929). — MARTIN, P., Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. 3 Bde. 2. Aufl., 1914. — MERKEL-KALLIUS, Makroskopische Anatomie des Auges. Graefe-Saemisch, Handbuch der gesamten Augenheilkunde **II** (1910). — NAUCK, E. TH., Bemerkungen über den mechanisch-funktionellen Bau der Nerven. Verh. anat. Ges., 40. Tagung in Breslau **1931**, 260—275; 9 Abb. — Die Wellung der Sehnenfasern, ihre Ursache und ihre funktionelle Bedeutung. Gegenbaurs Jb. **68**, H. 1/2, 79—96 (1931). — VIRCHOW, H., Mikroskopische Anatomie der äußeren Augenhaut und des Lidapparates. Graefe-Saemisch, Handbuch der gesamten Augenheilkunde **II** (1910). — ZIETZSCHMANN, O., Das Sehorgan. Handbuch der vergleichenden mikroskopischen Anatomie der Haustiere. Herausgeg. von W. Ellenberger **I** (1906).

Lebenslauf

Ich, Erich Fischer, evangelischer Konfession, bin geboren am 28. Dezember 1904 in Witten an der Ruhr. Ich besuchte bis zum 10. Lebensjahre die Volksschule, bis zum 19. das Realgymnasium zu Lüdenscheid in Westfalen, das ich Ostern 1924 mit dem Zeugnis der Reife verließ. In Göttingen studierte ich die ersten fünf Semester Medizin und bestand dort nach vier Semestern das Vorexamen. Nach zwei Semestern in Köln, einem in Berlin und zwei weiteren in Köln beendete ich nach insgesamt zehn Semestern in Köln am 1. August 1929 das Staatsexamen. Nach meiner Medizinalpraktikantenzeit an der chirurgischen Abteilung des evangelischen Krankenhauses in Köln-Kalk erhielt ich am 7. August 1930 die ärztliche Approbation. Nach einer weiteren zweimonatigen Assistententätigkeit an der chirurgischen Station desselben Krankenhauses war ich vom 1. Oktober 1930 bis zum 31. Januar 1932 Assistent am Anatomischen Institut der Universität in Gießen. In dieser Zeit fertigte ich meine medizinische Doktorarbeit an und bestand die Doktorprüfung am 30. Juli 1932. Vom 1. Februar 1932 bis zum 31. Oktober 1932 war ich Assistent beim Pathologischen Institut derselben Universität. Seit dem 1. November 1932 bin ich Assistent an der Chirurgischen Universitätsklinik in Münster.

Erich Fischer.